

中等职业教育课程改革国家规划新教材

物 理

（ 电工电子类 ）

丛书主编	张宪魁	张协成
主 编	李广华	郝翠兰
副 主 编	张艳华	王正联 李 燕
主 审	郑 鹍	储克森（按姓氏笔画）

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部《中等职业学校物理教学大纲》（2009 年）编写的。本书针对中等职业教育发展和学生的认知特点，力求以学生发展为本，坚持以就业为导向，以能力为本位的课程改革目标，努力实现“简洁、实用、够用”的时代要求。全书以经典物理为主线，体现了当前新的知识、技术、工艺、方法等对中职物理的需求。

本书共 10 章。各章节加“*”号、“**”号的内容是区别大纲要求的专业知识和扩展知识，以便于教师教学中选择与取舍。节前设有学习目标，节后设有习题，便于学生学习知识与巩固。教材中设有“想一想”、“做一做”、“社会调研”等内容，用来扩充学生的知识面。

本书是中等职业教育课程改革物理（电工电子类）国家规划新教材，也可作为职业培训班教材以及自学者参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

物理：电工电子类 / 李广华，郝翠兰主编. —北京：电子工业出版社，2009.8

中等职业教育课程改革国家规划新教材

ISBN 978-7-121-08818-6

I. 物… II. ①李… ②郝 III. 物理课—专业学校—教材 IV. G634.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 074287 号

策划编辑：施玉新

责任编辑：雷洪勤

印 刷：北京京师印务有限公司
装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：11.75 字数：300 千字

印 次：2009 年 9 月第 3 次印刷

定 价：12.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前言

本书是根据教育部《中等职业学校物理教学大纲》(2009 年)要求进行编写的。按照现代职业教育发展的特点,在教材编写上,努力实现以服务为宗旨,以就业为导向的课程改革目标。

本教材的编写在遵循“简洁、实用、够用”的原则基础上,针对电工电子类专业的教学需求,突出如下几个特点:

1. 在教材编写上以经典物理为主线,以掌握概念、强调应用为重点,以培养能力、提高现代公民素质为中心,尽可能反映当前的新知识、新技术、新工艺、新方法以及生产、建设、管理、服务等行业对中职物理教学的新要求。通过“阅读材料”介绍近现代物理的理论及发展趋势,以及著名物理学家的科学精神、科学成就和科学思维方法,力求提高中职学生的物理科学素养。

2. 正确把握物理课程在中等职业学校教学中的地位,客观分析中等职业学校学生的认知特点、心理特征和技能形成规律,采用不同的课程模式,为学生创设“乐学、能学、好学”的教学环境。

3. 在知识层次上以基本知识为主线,专业知识加“*”号,扩展知识加“**”号,有利于教学中的选择与取舍,方便教学。

4. 在文字的叙述上通俗易懂、深入浅出。简化了严密的逻辑推理及实验验证过程,降低了利用物理公式解题的难度要求,降低了理论思维的定量要求。

5. 在习题的安排上,强调以掌握基本概念、基本规律、基本方法的训练为主,无难题和偏题。既让学生掌握基本物理概念和规律,又要方便教师教学,有利于推进当前物理教学改革,以适应当前中等职业教育“强化基础教育,实施通才教育”的新要求。

6. 教材中各章前编制了课题导入,每节前编制了明确的学习目标,使学生带着目标学习,从而提高学习效率。

7. 教材中设置了“想一想”、“做一做”、“社会调研”等内容,学生可以根据需要进行学习,目的是让学生在学习基本知识的同时,既锻炼了能力,又扩大了知识面,为学生能力的培养打造一个多维的平台。

全书包括力学、热学、电磁学、光与近现代物理 4 个部分,分 10 章内容进行编写。

参加本教材编写的人员有:张宪魁、张协成、李广华、郝翠兰、张艳华、王正联、李燕、寻艳芳、王金玲、庄建莎、李方振、王太友。

本教材由郑鹍、储克森、周励新主审,并得到了电子工业出版社的大力支持与帮助,对此我们表示衷心的感谢。

因作者水平有限,虽尽力为之,但书中难免有错误和不妥之处,欢迎广大读者提出意见和建议,以便于修改和完善。

编者

2009 年 3 月

中等职业教育课程改革国家规划新教材

出版说明

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》（国发〔2005〕35号）精神，落实《教育部关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》（教职成〔2008〕8号）关于“加强中等职业教育教材建设，保证教学资源基本质量”的要求，确保新一轮中等职业教育教学改革顺利进行，全面提高教育教学质量，保证高质量教材进课堂，教育部对中等职业学校德育课、文化基础课等必修课程和部分大类专业基础课教材进行了统一规划并组织编写，从2009年秋季学期起，国家规划新教材将陆续提供给全国中等职业学校选用。

国家规划新教材是根据教育部最新发布的德育课程、文化基础课程和部分大类专业基础课程的教学大纲编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过的。新教材紧紧围绕中等职业教育的培养目标，遵循职业教育教学规律，从满足经济社会发展对高素质劳动者和技能型人才的需要出发，在课程结构、教学内容、教学方法等方面进行了新的探索与改革创新，对于提高新时期中等职业学校学生的思想道德水平、科学文化素养和职业能力，促进中等职业教育深化教学改革，提高教育教学质量将起到积极的推动作用。

希望各地、各中等职业学校积极推广和选用国家规划新教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司
2009年5月

目 录

第 1 章 运动的描述	1
1.1 运动的概念	2
1.2 运动快慢的描述——速度	5
1.3 匀变速直线运动	7
1.4 匀变速直线运动的速度与位移	10
1.5 自由落体与平抛运动	13
1.6 实验 长度的测量	16
1.7 实验 打点计时器的使用	19
1.8 实验 测定匀变速直线运动的加速度	20
本章小结	22
第 2 章 力的相互作用	23
2.1 常见的力	24
2.2 力的算法	29
2.3* 共点力作用下物体的平衡	33
2.4* 有固定转动轴的物体的平衡	35
本章小结	38
第 3 章 牛顿运动定律	39
3.1 牛顿第一运动定律	40
3.2 牛顿第二运动定律	41
3.3 牛顿第三运动定律	45
3.4 牛顿运动定律的应用	47
3.5* 圆周运动	48
3.6** 航天技术简介	53
本章小结	57
第 4 章 机械能守恒定律	58
4.1 功 功率	59
4.2 动能 动能定理	63
4.3 势能	66
4.4 机械能守恒定律	68
4.5* 机械振动 机械波	71
本章小结	76
第 5 章 热现象及应用	77
5.1 分子动理论	78
5.2 能量守恒定律	80
本章小结	82
第 6 章 电场	83
6.1 电场的描述	84

6.2 电势能 电势 电势差	87
6.3* 带电粒子在匀强电场中的运动	89
6.4* 电容器 电容	92
6.5* 静电的应用与防止	96
本章小结	100
第 7 章 直流电路	101
7.1 电阻定律	102
7.2 串联电路和并联电路	106
7.3 电功 电功率	110
7.4 全电路欧姆定律	113
7.5 安全用电	117
7.6 实验 多用电表的使用	121
7.7 实验 测定电源电动势和内电阻	124
本章小结	126
第 8 章 磁场 电磁感应	127
8.1 磁场 磁感强度	128
8.2* 磁介质 铁磁材料	131
8.3 磁场对电流的作用	133
8.4* 磁场对通电线圈的作用	136
8.5* 磁场对运动电荷的作用	138
8.6 电磁感应现象	141
8.7 自感 互感	145
8.8* 电磁振荡 电磁波	148
本章小结	153
第 9 章 光现象及应用	154
9.1 光的全反射	155
9.2 激光的特性及应用	159
9.3** 现代通信技术简介	160
本章小结	163
第 10 章 近代物理简介	164
10.1 原子结构	165
10.2 核能 核技术	167
10.3** 新能源的开发利用与节能	170
10.4** 物理与保护环境	173
10.5** 相对论初步	176
10.6** 量子力学简介	180
本章小结	181

第 1 章 运动的描述



在我们周围，到处都可以看到物体的运动。河水在奔流，鸟儿在飞翔，树叶在摇动，车辆在行驶……就连我们脚下的地球也在不停地自转、公转。自然界的一切物体都在不停地运动。物体的空间位置随时间的变化，是自然界中最简单、最基本的运动形态，称为机械运动。在物理学中，研究物体做机械运动规律的分支叫做力学。人们在力学的研究中，不仅了解了物体做机械运动的规律，而且还创造了科学研究的基本方法。所以有物理学家说：无论从逻辑上还是从历史上讲，力学都是物理学的基础，也是物理学及其他科学研究的典范……力学之于物理学如同骨骼之于人体。

在本章中，我们将研究怎么样描述物体的运动。

1.1 运动的概念

目标要求

了解质点的概念，知道质点是一种理想化的物理模型，认识物理模型在探索自然规律中的作用；理解时间和时刻、路程和位移、标量和矢量等概念以及它们之间的区别。

对于机械运动，我们大家已经十分熟悉了。怎么样描述机械运动呢？不同的人有不同的视角。科学家应该怎样描述物体的机械运动呢？

质点

参考系 一个物体的运动，总是参考其他物体来说的。例如，我们说房屋是静止的，行驶中的汽车是运动的，这是以地面为参考来说的。坐在行驶的火车上的乘客，认为自己是静止的，车窗外的树木在后退，这是以车厢为参考来说的。在描述物体运动时，被选来作为参考的物体，叫做**参考系**。

想一想

静坐在船舱内的乘客，有时往往难以判断轮船是否在行驶，如图 1-1 所示。这是为什么呢？

选择的参考系不同，观察到物体的运动也往往不同。例如，在一个没有风的雨天，如果一个人站在地面上没有走动，他看到的雨滴是竖直下落的；如果这个人在快步行走，他看到的雨滴是斜向着他运动的，如图 1-2 所示。可见，不指明确定的参考系，物体的运动就无法描述。



图 1-1 行驶的船



图 1-2 在雨中

描述一个物体的运动，可以选择不同的参考系。至于选择哪个物体作为参考系，应根据问题的性质和研究问题的方便而定。例如，研究地面上物体的运动，一般选地面为参考系；而在研究太阳系中行星的运动时，则最好选太阳作为参考系。

想一想

宋代诗人陈与义有一首诗《襄邑道中》：“飞花两岸照船红，百里榆堤半日风。卧看满天云不动，不知云与我俱东。”在这首诗中，对于运动的描述生动传神，你怎样理解呢（图 1-3）？

物体与质点 物体都有一定的大小和形状，物体各部分的运动情况不一定相同，例如，汽车转弯时外侧一点划过的弧就比内侧一点划过的弧要长些。看来，要详细描述物体的运动，并不是一件简单的事。但是，在某些情况下却可以不考虑物体的大小和形状，从而使问题研究得到简化。例如一列火车从北京开往天津，当我们讨论火车的运行时间这类问题时，由于列车的长度比北京到天津的距离小很多，就可以不考虑列车的长度；当地球绕太阳公转时，地球上各点的运动并不相同，但是，由于地球本身的尺寸（ $D=1.3\times 10^4\text{km}$ ）与地球与太阳之间的距离（ $d=1.5\times 10^8\text{km}$ ）相比小得多，地球上各点绕太阳公转运动的差异微乎其微（在万分之一以内），这样，在研究地球绕太阳公转运动时，也可以把地球视为一个点。这种为研究问题方便把物体看成具有质量、没有大小的理想的点就叫做质点。



图 1-3 古代诗人关于运动的认识

想一想

是不是所有物体都可以当成质点来处理？你能举出一些把运动物体看做质点的实例吗？

质点是为了研究物体运动而引入的一种理想模型。建立质点模型时，人们忽略了物体大小、形状等对运动极其微弱的影响，极大地简化了运动的研究。

一个物体能否看做质点是有条件的。例如，在研究地球的公转时，地球的大小可以忽略；研究宇宙飞船在轨道上的运动时，飞船的大小也可以忽略。这时可以把地球、飞船看做质点。又如，在研究列车沿平直轨道的运动时，车厢各点的运动完全一样，可以用车上的某一点运动代表火车的运动，这时也能把火车看做质点。

坐标系 如果物体沿直线运动，为了定量描述物体的位置，可以以这条直线为 x 轴，在直线上规定原点、正方向和单位长度，建立直线坐标系。如图 1-4 所示，若某一物体运动到 A 点，此时它的位置坐标 $x_A=2\text{m}$ ；若它运动到 B 点，则此刻它的坐标 $x_B=-3\text{m}$ 。一般说来，为了定量地描述位置及位置的变化，需要在参考系上建立适当的坐标系。

时刻和时间 时刻与时间既有联系又有区别。如某次日偏食开始于 9 时 10 分，结束于 9 时 30 分，如图 1-5 所示，历时 20 分钟。这里日偏食开始和结束所对应的是时刻，日偏食过程所对应的则是时间。在表示时间的轴上，时刻用点表示，时间为间隔，用线段表示。

我们平时所说的“时间”，有时指的是时刻，如：“现在什么时间”，而有时则是指的时间间隔，要根据上下文认清它的含义。在国际单位制中，时间的单位是秒，符号是 s 。常用单位还有 min （分）、 h （小时）。

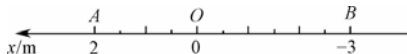


图 1-4 直线坐标系

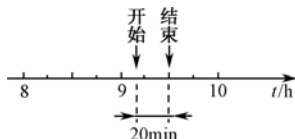


图 1-5 时间与时刻

想一想

结合上课、下课以及课间时间与课间休息，了解时间与时刻的含义。列举出生活中用来表示时间和时刻的常用语。

路程和位移

位移 如图 1-6 所示，某学生家在 A 地，学校在正东方向 B 地，两地相距 1200m。上学时，有两条线路可供选择，一条沿路径 ACB ，另一条沿路径 $ADEB$ 。上学时，他选择不同的路径，走过的线路长度也不相同，但是，就位置变动来说，他总是由初位置（学生家）到达位于正东方向 1200m 的末位置（学校）。

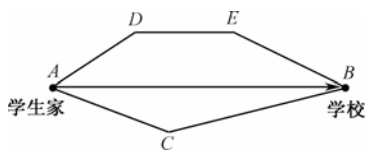


图 1-6 位移与路程

为了描述物体位置的变动，我们引入位移的概念。

在图 1-6 中，学生从初位置 A （学生家）运动到末位置 B （学校），从 A 指向 B 的有向线段 AB ，就可以用来表示物体的位移。位移的大小是线段 AB 的长度，位移的方向是初位置 A 指向末位置 B 的方向。位移的单位是米，用符号 m 表示。

只要运动物体的初、末位置确定下来，不管物体沿什么样的路径运动，物体的位移都是相同的。

路程 路程和位移不同。路程是质点运动轨迹的长度。在图 1-6 中，质点位移是有向线段 AB ，而路程则是路径 ACB 或 $ADEB$ 的长度。

想一想

俗话说：“条条大道通罗马”，从位移的角度如何理解这句话？

矢量和标量 在物理中，像位移这样既有大小又有方向的物理量，叫做**矢量**；而温度、质量和路程这些只有大小，没有方向的物理量，叫做**标量**。如一个粮袋中原有 15kg 小麦，又放入 20kg 小麦，那么现在袋子中小麦的质量为 35kg。即两个标量相加遵从算术加法，而矢量相加时与此不同。我们考虑下面的问题。

例题 某汽车向正东方向直线行驶 200m 后，改道向正南方行驶 150m，求汽车的位移。

解 用作图法求解，选择标度大小，如取 10mm 长线段表示 50m，作出汽车的位移图，如图 1-7 所示。经测量得汽车的位移大小 s 为 250m（因为是直角，也可用勾股定理求其大小），方向正东偏南 37° ，如图 1-7 所示。

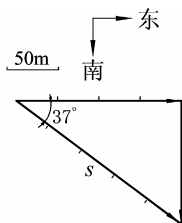


图 1-7 汽车的位移



想想练练

1. 平常说的“地球的公转”、“钟表的指针在转动”、“太阳东升西落”、“一江春水向东流”等，分别是说什么物体相对什么参考系在运动？

2. 想想如何解释“小小竹排江中游，巍巍青山两岸走”（如图 1-8 所示）？

3. 以下各种说法中，哪些指时间，哪些指时刻？

(1) 列车员说：“火车 8 点 42 分到站，停车 8 分钟。”；

(2) “您这么早就来啦，等很久了吧？”；

(3) “前 2 秒”、“最后 3 秒”、“第 2 秒末”、“第 2 秒内”。



图 1-8 行驶在江中的竹排

4. 某班同学在 400m 的跑道上进行 800m 赛跑的比赛，

(1) 不同跑道的运动员跑完全程的路程相同吗？跑完全程的位移相同吗？

(2) 如果百米赛跑选在直道部分进行，那么跑完全程路程与位移大小各是多少呢？

5. 出租汽车司机是按位移收费的还是按路程收费的？



阅读材料

模型就是奥地利的火车时刻表

许多著名物理学家都曾谈及过理想模型。例如，美籍奥裔物理学家韦斯科夫曾风趣地说：“什么叫模型？模型就是奥地利的火车时刻表。奥地利的火车经常晚点，乘客问列车员：‘你们干吗还要时刻表？’列车员回答说：‘有了时刻表你才知道火车晚点呀！’”

我们知道，尽管没有一列火车能够完全按照火车时刻表运行，但是，如果真的没有列车时刻表，铁路交通将会怎样呢？由此，我们就能体会到理想化物理模型在科学中的地位和作用了。

1.2 运动快慢的描述——速度

目标要求

理解速度、平均速度、瞬时速度和速率概念；理解它们之间的区别与联系。

速度

不同的物体运动，位置变化快慢程度往往不相同，也就是说运动的快慢不同。要比较物体运动的快慢，可以有两种方法。一是在相同的时间内，比较物体运动的位移大小，位

移大的则运动快。例如，在 2h 内自行车能骑行 18km，而汽车能行驶 90km，很明显，汽车比自行车运动得快；另一个是在位移相同时，比较所用时间的长短，时间短的运动快。例如：百米赛跑中，用时 10s 的运动员比用时 11s 的运动员跑得快。那么，跑 10s 的运动员与自行车哪一个快呢？为了比较运动的快慢，我们引入速度的概念。

速度是表示运动快慢的物理量。在匀速直线运动中，速度等于位移 s 与发生这段位移所用时间 t 的比值。速度通常用 v 表示。

$$v = \frac{s}{t}$$

在国际单位制中，速度的单位是米每秒，符号是 m/s。常用的单位还有千米每小时（km/h）、厘米每秒（cm/s）等。

速度既有大小，又有方向，是矢量。速度的方向与运动方向相同。
实际上，严格意义上的匀速直线运动是没有的，我们可以把一些与匀速直线运动接近的实际运动当成匀速直线运动来处理。

平均速度 日常生活中所见到的直线运动，大都不是匀速直线运动。例如，火车出站时速度越来越快，进站时越来越慢，它在相等时间内的位移并不是相等的。在直线运动中，如果在相等的时间内位移不相等，这种运动就叫做变速直线运动。

在变速直线运动中，物体在相等时间内的位移不相等，位移和时间的比值不是恒定的，由此求出的速度，是作变速直线运动的物体在时间 t 或位移 s 内的平均速度。用 \bar{v} 表示平均速度，则有

$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

在变速直线运动中，不同时间或不同位移内的平均速度一般是不同的，因此对于平均速度，必须指明是对哪段时间或哪段位移来说的。表 1-1 中列出了一些常见物体运动的平均速度。

表 1-1 常见物体的速度 $v(\text{m/s})$

蜗牛	1.5×10^{-3}	声音（空气中）	330
乌龟	0.02	轻型喷气飞机	550
苍蝇	5	巡航导弹	800
水翼船	17	步枪子弹	900
野兔	18	普通炮弹	1×10^3
鹰	24	远程炮弹	2×10^3
火车	50	洲际弹道导弹	5×10^3
小汽车	56	人造卫星或飞船（近地）	7×10^3
竞赛汽车（纪录）	174	地球的公转	3.0×10^4
大型民航飞机	300	光在真空中的速度	3.0×10^8

例题 汽车起吊重物时，前 2s 重物上升了 0.8m，中间 2s 上升了 1.2m，最后 2s 上升了 2.2m。求重物在每个 2s 内及整个 6s 内的平均速度。

解 如图 1-9 所示,重物在前 2s 内的位移是 0.8m,平均速度为

$$\bar{v}_1 = \frac{s_1}{t_1} = \frac{0.8}{2} \text{ m/s} = 0.4 \text{ m/s}$$

重物在中间 2s 内的位移是 1.2m, 平均速度为

$$\bar{v}_2 = \frac{s_2}{t_2} = \frac{1.2}{2} \text{ m/s} = 0.6 \text{ m/s}$$

重物在最后 2s 内的位移是 2.2m, 平均速度为

$$\bar{v}_3 = \frac{s_3}{t_3} = \frac{2.2}{2} \text{ m/s} = 1.1 \text{ m/s}$$

重物在整个 6s 内的位移是

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = (0.8 + 1.2 + 2.2) \text{ m} = 4.2 \text{ m}$$

则整个 6s 内的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{4.2}{6} \text{ m/s} = 0.7 \text{ m/s}$$

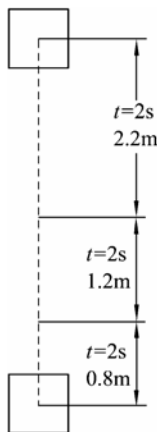


图 1-9 重物上升过程分析

瞬时速度 平均速度表示作变速直线运动的物体在某一段时间内的平均快慢程度,它只能粗略地描述物体的运动。要精确地描述变速直线运动,就必须知道物体经过每一时刻或每一位置时运动的快慢程度。通常,我们用**瞬时速度**来说明物体经过某一时刻或某一位置时运动的快慢。



图 1-10 汽车速度计

瞬时速度的大小叫做瞬时速率,简称**速率**。在直线运动中,瞬时速度的方向与物体经过某一位置时的运动方向相同。

技术上通常用速度计来测瞬时速率。如图 1-10 所示为汽车速度计,指针所指的数字,就是某时刻汽车的瞬时速率。乘汽车的时候,注意一下司机面前的速度计就会发现,指针所指的数字随着行驶的快慢而发生改变。



想想练练

汽车从制动到停止下来共用了 5s,这段时间内,汽车每 1s 前进的距离分别是 9m, 7m, 5m, 3m, 1m。

(1) 求汽车前 1s、前 2s、前 3s、前 4s 和全程的平均速度。这 5 个平均速度中哪一个最接近汽车关闭油门前的瞬时速度? 它比这个瞬时速度略大还是略小些?

(2) 汽车运动的最后 1s 的平均速度是多少? 汽车的末速度是多少?

1.3 匀变速直线运动

目标要求

了解匀变速直线运动,理解加速度的概念,并能进行简单的计算。

寻求一种运动的特点和规律，一般要从某个具体事例开始。这一节我们通过观察汽车速度里程表的示数，看看汽车的速度是怎样随时间变化的。

匀变速直线运动

一辆汽车沿着直线运动，观察汽车速度里程表在不同时刻的示数，并记入表 1-2 中。

表 1-2 汽车速度里程表在不同时刻的示数

t/s	0	2.0	4.0	6.0	...
$v/(km/h)$	10.8	12.2	13.6	15	...
$v/(m/s)$	3.0	3.4	3.8	4.2	...

分析表中的数据可以发现，汽车的速度随时间变化，每经过 2.0s 就增加 0.40m/s，即在相等的时间间隔内，汽车速度的变化相等。

物体作直线运动时，如果在任意相等的时间间隔内速度的变化都相等，这种运动就叫做匀变速直线运动。

匀变速直线运动是一种速度均匀变化的变速直线运动。严格意义上的匀变速直线运动是很难实现的，一般将一些近似于匀变速直线运动的变速运动当做匀变速直线运动来处理。例如，成熟的水果从树上落下，火车在平直轨道上启动时的运动，炮弹在炮筒里的运动等，都可看成是匀变速直线运动。

想一想

竖直向上抛出一金属小球，在它上升和下降的过程中，分别是什么样的运动形式？

加速度 不同的物体运动时速度的变化快慢往往是不同的。怎样描述速度改变的快慢呢？

例如 一列火车开动时，它的速度在 2min 内从零增加到 45m/s；一辆普通的小型轿车在 20s 内速度从零增加到 15m/s，谁的速度改变快一些呢？

为了便于比较，我们选择相同的时间（1s）来研究两物体速度改变的大小。火车在 1s 内速度的变化量为 $\frac{45-0}{2 \times 60} m/s = 0.38m/s$ ，小型轿车在 1s 内速度的变化量为 $\frac{15-0}{20} m/s = 0.75m/s$ 。可见，小型轿车的速度改变比火车快。为了描述物体速度变化的快慢这一特性，我们引入加速度的概念：**加速度是速度的变化量与发生这一变化所用时间的比值**，通常用 a 表示。若用 Δv 表示速度在时间间隔 Δt 内发生的变化，则有

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

在国际单位制中，加速度的单位是米每二次方秒，符号是 m/s^2 。

一般常用 v_0 表示物体运动的初速度，用 v_t 表示经过一段时间 t 后的末速度，用 a 表示加速度，则有

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

根据速度大小变化，可以将匀变速直线运动分为两类：一类是速度均匀增加的匀变速直线运动，叫做匀加速直线运动；另一类是速度均匀减少的匀变速直线运动，叫做匀减速直线运动。

加速度是矢量。直线运动中，通常规定初速度方向为正方向。匀加速直线运动中，加速度方向与初速度方向一致，加速度是正值；匀减速直线运动中，加速度方向与初速度方向相反，加速度是负值，如图 1-11 所示。

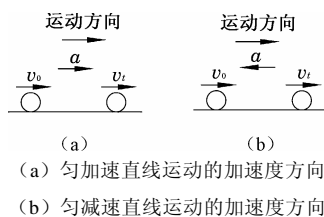


图 1-11 加速度方向

例题 1 作匀变速直线运动的汽车，在 10s 内速度从 7m/s 增加到 12m/s，求汽车的加速度。

解 汽车运动过程如图 1-12 所示。由加速度公式可得

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{12 - 7}{10} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2$$

加速度 a 是正值，表示加速度方向与汽车初速度方向一致，说明汽车作匀加速直线运动。

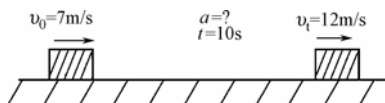


图 1-12 例题 1 图

想一想

有的同学认为速度大的物体，加速度就大；而有的同学则认为速度改变大的物体，加速度就大。你同意以上说法吗？

例题 2 汽车紧急制动时速度是 10m/s，经过 2s，汽车停了下来，求汽车的加速度。

解 汽车运动过程如图 1-13 所示。由加速度公式可得

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 10}{2} \text{ m/s}^2 = -5 \text{ m/s}^2$$

加速度是负值，表示加速度方向与汽车初速度方向相反，说明汽车作匀减速直线运动。

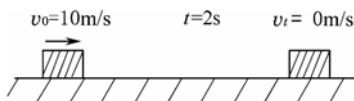


图 1-13 例题 2 图

社会调研

调查各类动力车辆的加速度

加速度是衡量车辆性能的重要指标。加速度大的车辆，能在很短的时间内提高较大的速度，加速性能好，启动时间短。

请同学们走访用车户，实地调查车辆的加速度。如果你家附近有大型的车辆销售网点的话，可以实地调查一下，通过索取有关资料，了解不同车辆的加速度。也可以尝试登录互联网，查看你所需的有关资料。

完成这些调查后，写一篇关于动力车辆加速度的研究报告。如果你有兴趣，可与车辆销售网点技术工程师合作，进一步研究影响车辆加速度大小的因素。



想想练练

1. 小型轿车的“百公里加速时间”，是汽车从静止开始加速到 100km/h 所用的时间，它与发动机的功率、车体质量、传动机构的匹配等因素有关，是反映汽车性能的重要参数。A、B、C 三种型号的轿车实测的百千米加速时间分别为 11.3s, 13.2s, 15.5s，比较它们在测试时的平均加速度。

2. 在你的生活和学习中，有没有符合下列说法的情况？请举例说明。

(1) 物体运动的加速度等于 0，而速度却不等于 0。

(2) 两物体相比，一个物体的速度变化量比较大，而加速度却比较小。

(3) 物体作直线运动，后一段时间的加速度比前一段时间的小，但是速度却比前一段时间的大。

(4) 物体具有向西的加速度，而速度的方向却是向东。

1.4 匀变速直线运动的速度与位移

目标要求

理解匀变速直线运动的速度公式和位移公式，并能进行简单计算，体会数学工具在研究物理问题中的作用。

一物体作匀变速直线运动，如果已知它的初速度、加速度，我们能不能计算出经过一段时间 t 后，它的速度及这段时间内的位移呢？

速度随时间的变化

由匀变速直线运动的加速度公式

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

可以得到匀变速直线运动的速度随时间的变化关系，又叫**速度公式**

$$v_t = v_0 + at$$

式中， v_0 是运动物体的初速度； at 是在时间 t 内物体速度的变化量； $v_0 + at$ 就是物体经过时间 t 后的速度，即末速度 v_t 。

如果初速度为零，则上式可简化为 $v_t = at$ 。

它表明：初速度为零的匀变速直线运动中，速度与时间成正比。

例题 1 某汽车在紧急刹车时加速度的大小是 6m/s^2 ，如果必须在 2s 内停下来，汽车的行驶速度最高不能超过多少？

分析 我们研究的是汽车从开始刹车到停止运动这个过程，在这个过程中，设汽车做匀减速运动，加速度的方向与速度方向相反。沿汽车的运动方向建立坐标轴（图 1-14），则汽车的加速度取负号，记 $a=-6\text{m/s}^2$ 。这个过程的末速度是 $v_t=0$ ，初速度 v_0 就是我们所求的最高允许速度。过程的持续时间为 $t=2\text{s}$ 。

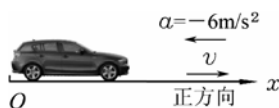


图 1-14 例题 1 图

解 根据公式 $v_t=v_0+at$ ，可得

$$\begin{aligned} v_0 &= v_t - at \\ &= 0 - (-6\text{m/s}^2) \times 2\text{s} \\ &= 12\text{m/s} \\ &= 43\text{km/h} \end{aligned}$$

即汽车的速度最高不能超过 43km/h 。

匀变速直线运动的位移公式

在匀变速直线运动中，通过推导可以得到以下公式：

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

这个公式叫做匀变速直线运动的位移公式。

如果 $v_0=0$ ，则上式可简化为

$$s = \frac{1}{2} a t^2$$

它说明：在初速度为零的匀变速直线运动中，位移与时间的平方成正比。

例题 2 一列火车以 8m/s 的初速度从斜坡上匀加速下行，加速度大小是 0.2m/s^2 ，火车通过斜坡的时间是 20s ，求这斜坡的长度。

解 火车运动过程如图 1-15 所示，由匀变速直线运动的位移公式可得

$$\begin{aligned} s &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= (8 \times 20 + \frac{1}{2} \times 0.2 \times 20^2) \text{m} \\ &= 200\text{m} \end{aligned}$$

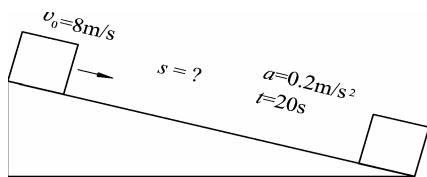


图 1-15 例题 2 图

即斜坡的长度为 200m 。

做一做

由速度公式 $v_t = v_0 + at$ 和位移公式 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ ，你能推导出表示速度与位移的关系 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 吗？

速度图像

物体运动时，速度与时间有着一定的关系，这种关系也可以用数学图像表示出来。例

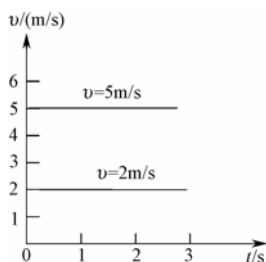
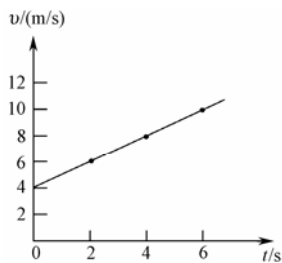


图 1-16 匀速运动速度图像

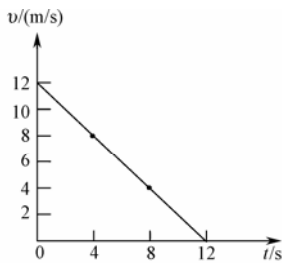
如，匀变速直线运动的速度公式 $v_t = v_0 + at$ ，也可以以速度 v 为纵轴，时间 t 为横轴，把速度与时间的关系用图像表示出来。这种图像叫做 $v-t$ 图像，也叫做速度图像。

由于匀速直线运动的速度是恒定不变的，所以它的速度图像是一条与横轴平行的直线，如图 1-16 所示。

因为匀变速直线运动中质点的速度随时间均匀变化，用公式表示，即 $v_t = v_0 + at$ ，所以不难看出，匀变速直线运动的速度图像是一条倾斜的直线，如图 1-17 所示。



(a) 匀加速直线运动的速度图像



(b) 匀减速直线运动的速度图像

图 1-17 匀变速直线运动的速度图像

想一想

在匀变速直线运动的速度图像中，直线的斜率有什么含义？

想想练练

1. 火车原来的速度是 36km/h ，在一段下坡路上加速度为 0.2m/s^2 。火车行驶到下坡末端，速度增加到 54km/h 。求火车通过这段下坡路所用的时间。
2. 以 18m/s 的速度行驶的汽车，制动后作匀减速运动，在 3s 内前进 36m 。求汽车的加速度。
3. 神舟五号载人飞船在返回距地面 10km 时开始启动降落伞装置，速度减到 10m/s ，并以这个速度在大气中降落。在距地面 1.2m 时，返回舱的 4 台缓冲发动机开始向下喷火，舱体再次减速。最后减速过程中返回舱做匀减速运动，并且到达地面时恰好速度为 0 ，求最后减速阶段的加速度。

1.5 自由落体与平抛运动

目标要求

了解自由落体和平抛运动的特点及规律，并能进行简单计算。

自由落体运动

自由落体运动 物体从静止竖直下落是一种常见的运动：小石块从高桥上下落，露珠从树叶上下落，成熟的苹果从树上下落，那么不同物体下落的快慢是不是相同的呢？

从同一高度同时下落的一片树叶和一个果子，果子先落地；在同一高度同时下落的一个金属球和一张纸片，金属球先着地。这些现象似乎在告诉人们，重的物体比轻的物体下落得要快。这种似是而非的观点误导了人类上千年。

16 世纪末，意大利物理学家伽利略认识到这个观点的错误。他指出：在忽略空气阻力的情况下，物体下落的速度快慢与物体所受的重力大小无关。

实验探究

用一根长 1.5m，一端封闭、另一端有开关的玻璃圆筒，里面放着不同的物体，如硬币、羽毛、纸片等称为牛顿管，如图 1-8 所示。如果玻璃圆筒里有空气，把圆筒倒过来，这些物体下落的快慢不同；但将圆筒里的空气抽出后，再把圆筒倒过来，物体下落的快慢就相同了。

物体只在重力作用下从静止开始下落的运动叫做**自由落体运动**。如果物体在有空气的空间下落，这种运动并不是自由落体运动，但是当空气阻力与物体自身重量相比较小，可以忽略不计时，物体的下落也可看做自由落体运动。

实验探究

图 1-19 所示为自由落体（小球）频闪照相的照片，照片中相邻的球的像是相隔同样的时间拍摄的。从照片上可以看出，在相等的时间间隔里，小球的下落位移越来越大，这表明小球的速度越来越快，即小球在做加速运动。



图 1-18 牛顿管

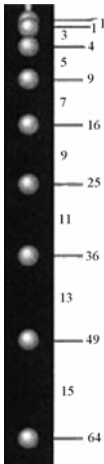


图 1-19 自由落体

自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动。

重力加速度 实验表明，在同一地点，从同一高度同时自由下落的物体，同时到达地面。这就是说，这些初速度为零的匀加速运动，在相同的时间里发生了相等的位移，根据公式 $s = \frac{1}{2}at^2$ 可知，它们的加速度必定相同。

在同一地点，一切物体在自由落体运动中的加速度都相同，这个加速度叫做**自由落体加速度**，也叫做**重力加速度**，通常用 g 来表示。

重力加速度 g 的方向总是竖直向下的。

精确的实验表明，在地球上不同的地方， g 的大小是不同的。通常的计算值取 g 为 9.8 m/s^2 ，有时取 g 为 10 m/s^2 。

自由落体运动的公式 自由落体运动是初速度为零、加速度为 g 的匀加速直线运动，因此只要将匀变速直线运动的公式作相应的变动，则有

$$v_t = gt$$
$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

例题 1 金属球从三楼阳台自由下落，测得经过的时间为 1.3s 落地，求阳台距离地面的高度及金属球落地时的速度。

解 金属球作自由落体运动。

由公式 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可得

$$h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.3^2 \text{ m} \approx 8.3 \text{ m}$$

由公式 $v_t = gt$ 可得

$$v_t = gt = 9.8 \times 1.3 \text{ m/s} \approx 12.7 \text{ m/s}$$

即阳台距地面 8.3m ，金属球落地时速度是 12.7m/s 。

平抛运动*

将物体用一定的初速度沿水平抛出，不考虑空气阻力，物体只在重力作用下所做的运动，叫做**平抛运动**。将一弹子球放在水平桌面上，用水平外力打击一下，使它以一定的水平初速度离开桌面，球离开桌面后所做的运动就是平抛运动。

平抛运动可以分解为水平方向和竖直方向上的两个分运动：在水平方向（也就是初速度方向）上物体不受力做匀速直线运动，速度等于平抛物体的初速度，在竖直方向上物体受到重力作用，并且初速度为零，物体做自由落体运动，情况是不是这样呢？我们来看下面的实验。

实验探究

如图 1-20 所示，用小锤打击弹性金属片，A 球就向水平方向飞出，做平抛运动，同时 B 球被松开，做自由落体运动。实验表明，越用力打击金属片，A 球的水平速度也越大，它飞出的水平距离就越远，但是，无论 A 球的初速度大小如何，也不论两球开始距地面高度如何，A 球总是与 B 球同时落地。

实验表明，平抛运动在竖直方向上是自由落体运动，水平方向速度的大小并不影响平抛物体在竖直方向上的运动。

既然平抛运动可以分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动，我们就可以分别算出平抛物体在任一时刻 t 的位置坐标 x 和 y 。取水平方向为 x ，正方向与初速度的方向相同，取竖直方向为 y 轴，正方向向下，取抛出点为坐标原点，加速度方向与 y 轴正方向相同，所以为正值，即 $a=g$ 。物体在任何时刻的位置坐标可以由下面的公式求出。

$$x=v_0t$$

$$y=\frac{1}{2}gt^2$$

根据这两个公式能求出任意时刻物体的位置。例如，平抛物体的水平初速度 $v_0=15\text{m/s}$ ，由公式可求出不同时刻物体的位置，如表 1-3 所示。将对应位置标在 xoy 坐标图上，并用平滑曲线把这些位置连起来，就得到平抛运动的轨迹，如图 1-21 所示。这个轨迹是一条抛物线。

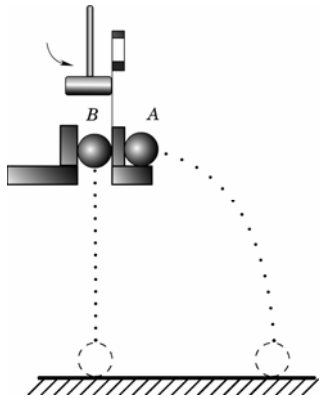


图 1-20 自由落体与平抛运动

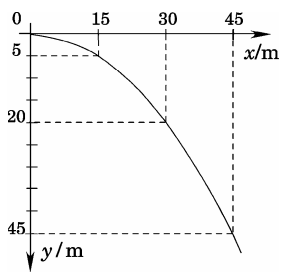


图 1-21 平抛运动的轨迹

表 1-3 $v_0=15\text{m/s}$ 时平抛物体不同时刻的位置

t/s	0	1	2	3	4	...
x/m	0	15	30	45	60	...
y/m	0	5	20	45	80	...

平抛物体在 t 秒末时的水平分速度 v_x 和竖直分速度 v_y 分别为（如图 1-22 所示）

$$v_x=v_0$$

$$v_y=gt$$

根据 v_x 和 v_y 的值，可以求得物体在这个时刻速度（即合速度）的大小和方向。

例题 2 一轰炸机在高出地面 0.49km 的高度，以 $3.6\times 10^2\text{km/h}$ 的速度水平飞行，为了使飞机上投下的炸弹落在指定的目标，应该在与轰炸目标的水平距离为多远的地方投弹？此处不计空气阻力（如图 1-23 所示）。

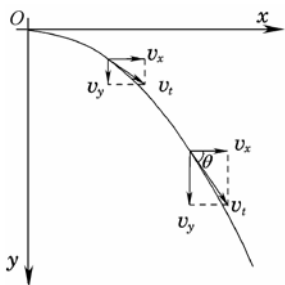


图 1-22 平抛运动的速度

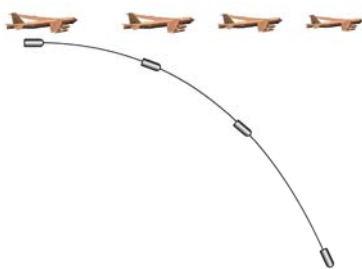


图 1-23 例图 2 图

分析 从水平飞行的飞机上落下的炸弹，在离开飞机时具有与飞机相同的水平速度，因此炸弹同时参与两个分运动：竖直方向的自由落体运动，水平方向的匀速直线运动。轰炸目标在地面上，炸弹落到地面所经过的时间 t 是由竖直方向的运动决定的，在这段时间 t 内，炸弹在水平方向通过的距离等于飞机投弹时离目标的水平距离，即可命中目标。

解 由 $y = \frac{1}{2}gt^2$ 可求出炸弹的飞行时间

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 490}{9.8}} \text{ s} = 10 \text{ s}$$

在这段时间内，炸弹通过的水平距离为

$$x = v_0 t = 100 \times 10 \text{ m} = 1000 \text{ m}$$

即飞机应在离轰炸目标水平距离是 1000m 的地方投弹。



想想练练

1. 把一张纸片和一块文具橡皮同时释放下落，哪个落得快？再把纸片捏成一个很紧的小纸团，和橡皮同时释放，下落快慢有什么变化？怎么样解释这个现象？
2. 为了测出井口到水面的距离，让一个小石块从井口自由落下，经过 2.5s 后听到石块击水的声音，估算井口到水面的距离，考虑到声音在空气中传播需用一定的时间，估算结果偏大还是偏小？
3. 一个自由下落的物体，到达地面的速度是 40m/s。这个物体是从多高处下落的？落到地面用了多少时间？

1.6 实验 长度的测量

目标要求

学习使用游标卡尺进行长度的测量，学习处理数据的方法，能用有效数字表示测量结果。

我们在初中已经用过米尺，米尺的最小刻度值是毫米，用它测量长度可以精确到毫米。如果需要更精确的测量，可以选择游标卡尺。

下面介绍游标卡尺的构造、原理和使用方法。

游标卡尺 游标卡尺的构造如图 1-24 所示。它由主尺和可以沿着主尺滑动的游标尺（游标尺组成）。

利用主尺上方的一对测量爪，可以测量槽的宽度和管的内径；利用主尺下方的一对测量爪可以测量零件的厚度和管的外径；利用固定在游标尺上的深度尺可以测量槽和筒的深度。

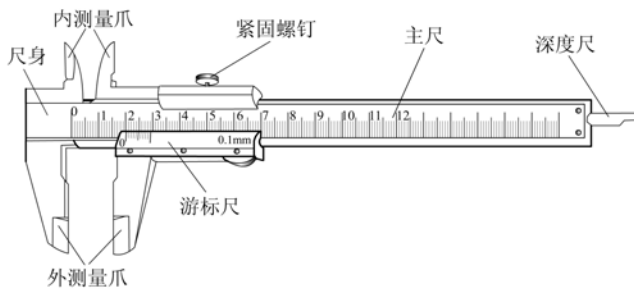


图 1-24 游标卡尺

用图 1-25 所示的游标尺是 10 分格的卡尺测量长度时，可以精确到 0.1mm。这种游标卡尺，主尺的最小分度是 1mm，游标尺上有 10 个小的等分刻度，它们的总长度等于 9mm，因此游标尺的每一分度与主尺的最小分度相差 0.1mm。当左、右测量爪合在一起，游标尺的零刻线与主尺的零刻度线对齐，只有游标的第十条刻线与主尺的 9mm 的刻线对齐，其余的刻线都不对齐。游标尺的第一条刻线在主尺的 1mm 刻线左边 0.1mm 处，游标尺的第二条刻线在主尺的 2mm 刻线左边 0.2mm 处……

在两测量爪间放一张厚 0.1mm 的纸片，游标尺就向右移动 0.1mm，这时它的第一条刻线与主尺的 1mm 刻线对齐，其余的刻线都与主尺上的刻线不对齐。同样，两测脚间放一张 0.5mm 的薄片，游标尺的第五条刻线将与主尺的 5mm 刻线对齐，其余的刻线都与主尺上的刻线不对齐。所以，被测薄片的厚度不超过 1mm 时，游标尺的第几条刻线与主尺的某一刻线对齐，就表示薄片的厚度是零点几毫米。

在测量大于 1mm 的长度时，整的毫米数由主尺上读出，十分之几毫米从游标尺上读出。例如，在图 1-26 中，游标卡尺的示数是 2.37cm。这样我们读出的十分之几毫米是直接测出的，而不是估读出的。因此，用这种游标卡尺测长度可以精确到 0.1mm。

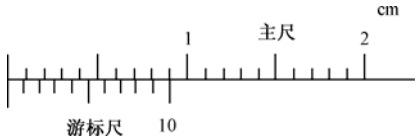


图 1-25 游标尺上有 10 个小的等分的刻度

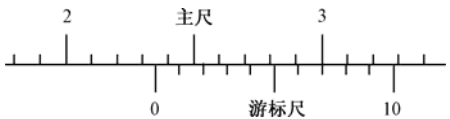


图 1-26 游标尺的读数

通常用的游标卡尺，在游标尺上有 20 个小的等分刻度，它们的总长度为 19mm，它的每一分度与主尺的最小分度 1mm 相差 0.05mm。当左、右测量爪合在一起，游标尺的零刻线与主尺的零刻度线对齐时，只有游标尺的第 20 条刻线与主尺的 19mm 的刻线对齐，其余

的刻线都不对齐，如图 1-27 所示。使用时，整毫米数由主尺上读出，游标尺的第几条刻线与主尺某一刻线对齐，毫米以下的长度就是 0.05mm 的几倍。例如游标尺的第 12 条刻线与主尺的某一刻线对齐，毫米以下的长度为 $0.05 \times 12 \text{mm} = 0.60 \text{mm}$ 。表示这条刻线与主尺的某一刻线对齐时，毫米以下的读数是 0.60mm。用这种游标卡尺测长度可以精确到 0.05mm。

如图 1-28 所示是利用这种游标卡尺测量一个工件长度时的示意图，测得的长度是 104.15mm。

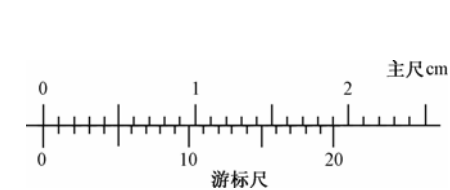


图 1-27 游标尺上有 20 个小的等分刻度

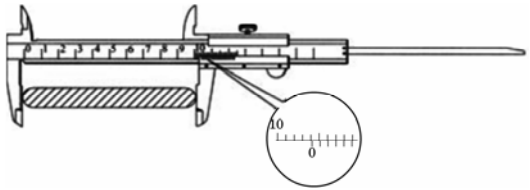


图 1-28 利用游标尺测量一个工件的长度

实验目的 练习正确使用刻度尺和游标卡尺测量长度。测量一段金属管的长度、内径和外径；测量一个小量筒的深度。

实验器材 刻度尺，游标卡尺，金属管，小量筒。

实验步骤

- (1) 用刻度尺测量金属管的长度，每次测量后让金属管绕轴转过约 45°，再测量下一次，共测量四次。把测量的数据填入表格中，求出平均值。
- (2) 用游标卡尺测量金属管的内径和外径，测量时先在管的一端测量两个方向互相垂直的内径（或外径），再在管的另一端测量两个方向互相垂直的内径（或外径），把测量的数据填入表格中，分别求出内径和外径的平均值。
- (3) 用游标卡尺测量小量筒的深度，共测量四次，把测量的数据填入表 1-4 中，求出平均值。

表 1-4 实验数据表

次数	金属管			小量筒
	长度 l/mm	内径 $d_{\text{内}}/\text{mm}$	外径 $d_{\text{外}}/\text{mm}$	深度 h/mm
1				
2				
3				
4				
平均值				

想想练练

有一种游标卡尺，它的游标尺上有 50 个小的等分刻度，它的总长度为 49mm，它的每一分度与主尺的最小分度 1mm 相差 0.02mm。用它测长度可以精确到多少？

1.7 实验 打点计时器的使用

目标要求

学习打点计时器的使用方法；用打点计时器测量物体运动的平均速度、瞬时速度。

电磁打点计时器 电磁打点计时器的构造如图 1-29 所示，它是一种使用交流电源的计时仪器，工作电压为 $4\sim 6\text{V}$ ，当电源频率是 50Hz 时，它每隔 0.02s 打一次点。通电以前，把纸带穿过限位孔，再把套在轴上的复写纸片压在纸带的上面，当接通电源时，在线圈和永久磁铁的作用下，振片便振动起来，位于振片一端的振针就跟着上下振动起来。这时，如果纸带运动，振针就在纸带上打出一列小点。

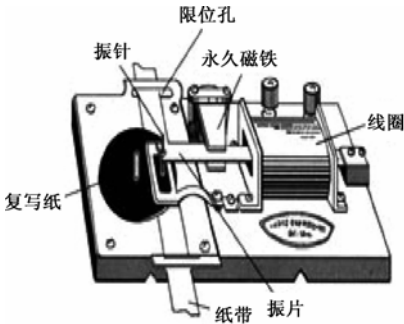


图 1-29 电磁打点计时器

电火花计时器 电火花计时器是利用火花放电在纸带上打出小孔而显示出点迹的计时器，它的构造如图 1-30 所示。使用时，墨粉纸盘套在纸盘轴上，并夹在两条白纸带之间，当接通 220V 交流电流后，计时器发出的脉冲电流经接正极的放电针、墨粉纸盘到接负极的纸盘轴，产生火花放电，于是在运动的纸带上打出一列点迹，当电源频率是 50Hz 时，它也是每隔 0.02s 打一次点。

当计时器工作时，纸带运动时受到的阻力小，实验误差小。

打点计时器是中职物理实验中常用的仪器，用它之前应该先熟悉其使用方法。

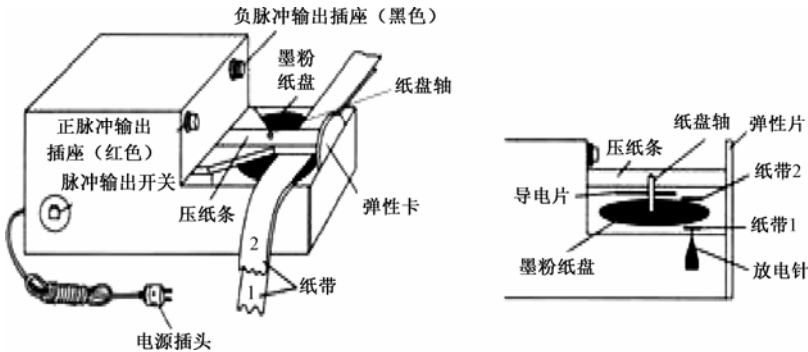


图 1-30 电火花计时器

实验目的 练习使用打点计时器，利用打上的点研究物体的运动情况。

实验器材 打点计时器，纸带，刻度尺，导线，电源。

实验步骤

- (1) 了解计时器的结构，然后固定在桌子上。
- (2) 装好纸带、墨粉纸，并调好之间的位置。
- (3) 接好电源，并打开电源让其工作，用手拉动纸带，纸上就打出一行小点，然后关闭电源。
- (4) 取下纸带，从能看清的点开始，往后数 n 个点，点的间隔数为 $n-1$ 个，所用时间为 $t=0.02\times(n-1)\text{s}$ 。
- (5) 用刻度尺测量一下，第一点与第 n 点之间的距离 s ，数值填入表 1-5 中。
- (6) 利用公式 $\bar{v}=\frac{s}{t}$ 计算出这段时间内的平均速度。

表 1-5 测量平均速度表

点子数 n	点子间隔数 $n-1$	运动时间 t/s	位 移 s/m	平均速度 $\bar{v}/(\text{m/s})$

(7) 在纸带上找出连续的 6 个点，如图 1-31 所示，分别标上记号 A, B, C, D, E, F ，用直尺量出两相邻点的距离 s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 ，并把数据填入表 1-6 中。根据这些数据，运用所学的知识，判断纸带在这段的运动是匀速运动还是变速运动。并把判断结果和理由写清楚。

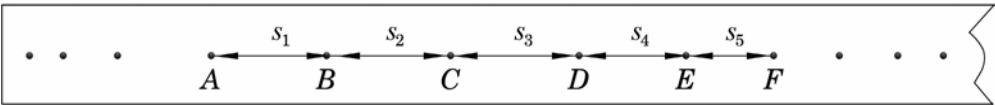


图 1-31 在纸带上找出连续的 6 个点

表 1-6 判断运动性质表

A 与 B 的距离 s_1/m	B 与 C 的距离 s_2/m	C 与 D 的距离 s_3/m	D 与 E 的距离 s_4/m	E 与 F 的距离 s_5/m

1.8 实验 测定匀变速直线运动的加速度

目标要求

巩固打点计时器的使用方法，用打点计时器测量物体运动的加速度。

实验原理

设物体做匀加速直线运动，加速度是 a ，在各个连续相等的时间 T 里的位移分别是 $s_1, s_2, s_3 \cdots$ 根据匀变速运动的特点，则有

$$s_1 = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2$$

$$s_2 = v_1 T + \frac{1}{2} a T^2$$

$$s_2 - s_1 = (v_1 - v_0) T = a T^2$$

$$s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = s_4 - s_3 = \cdots = a T^2$$

由上式可得

$$s_4 - s_1 = (s_4 - s_3) + (s_3 - s_2) + (s_2 - s_1) = 3aT^2$$

同理

$$s_5 - s_2 = s_6 - s_3 = \cdots = 3aT^2$$

可见，测出各段位移 $s_1, s_2, s_3 \cdots$ 即可求出

$a_1 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2}, a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2}$ ，再算出 a_1, a_2, \cdots 的平均值，就是所要测定的匀变速直线运

动的加速度。

实验目的 使用打点计时器测定匀变速速度直线运动的加速度。

实验器材 打点计时器，一端附有滑轮的长木板，小车，纸带，绳子，钩码，刻度尺，导线，电源。

实验步骤

(1) 如图 1-32 所示，把附有滑轮的长木板放在实验桌上，并使滑轮伸出桌面，把打点计时器固定在长木板上没有滑轮的一端，连接好电路。

(2) 把一条细绳拴在小车上，使细绳跨过滑轮，下边挂上合适的钩码。把纸带穿过打点计时器，并把纸带的一端固定在小车的后面。

(3) 把小车停在靠近打点计时器处，接通电源后，放开小车，让小车拖着纸运动，打点计时器就在纸上打下一列小点。换上新纸带，重复实验三次。

(4) 从三条纸带中选择一条比较理想的，舍掉开头一些比较密集的点，在后边便于测量的地方定一个开始点。为了测量方便和减少误差，通常不用每打一次点的时间作为时间单位，而用每打五次点的时间作为时间单位，就是 $T=0.02\text{s} \times 5=0.1\text{s}$ 。在选好的开始点下面标明 A ，在第六点下面标明 B ，在第 11 个点下面标明 $C \cdots \cdots$ 点 $A, B, C, D \cdots$ 叫做计数点，如图 1-33 所示两个相邻计数点间的距离分别是 $s_1, s_2, s_3 \cdots \cdots$

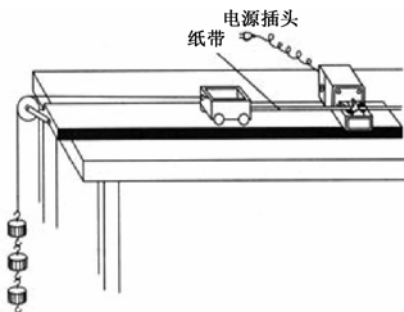


图 1-32 测量加速度实验

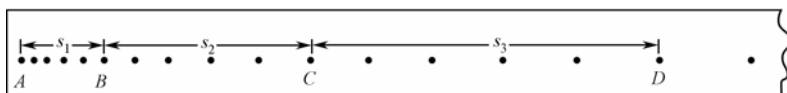


图 1-33 测量加速度实验的数据纸带

- (5) 测出 6 段位移的长度，把测量结果填入表 1-7 中。
- (6) 根据测量结果，利用“实验原理”中给出的公式算出加速度。

表 1-7 测试数据

计数点	位移 s/m	位移差 $\Delta s/\text{m}$	加速度 $a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
A			
B			
C			
D			
E		$s_4-s_1=$	$a_1=$
F		$s_5-s_2=$	$a_2=$
G		$s_6-s_3=$	$a_3=$

小车做匀变速运动的加速度 $a=$ _____。

本章小结

本章主要讲述了描述机械运动的有关概念和匀变速直线运动的规律及其应用，包括：

1. 描述机械运动的概念和物理量：质点、参考系、位移、速度（平均速度、瞬时速度）、加速度、矢量与标量。

2. 匀变速直线运动的规律

$$\begin{cases} v_t = v_0 + at \\ s = v_0t + \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$$

如果初速度为零，则有

$$\begin{cases} v_t = at \\ s = \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$$

3. 匀变速直线运动的应用

(1) 自由落体运动

$$\begin{cases} v_t = gt \\ h = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

(2) 平抛物体运动 平抛运动可分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动，其运动轨迹为抛物线。各时刻的位置坐标为：

$$\begin{cases} x = v_0t \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

平抛物体在水平与竖直方向上的速度为：

$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = gt \end{cases}$$

4. 长度的测量（游标卡尺），打点计时器及应用。

第2章 力的相互作用



自然界的物体不是孤立存在的,它们之间具有多种多样的相互作用。正是由于这些相互作用,物体在形状、运动状态等许多方面发生变化。在物理学中,物体间的这些相互作用抽象为一个概念:力。

自然界中最基本的相互作用是引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。常见的重力是万有引力在地球表面附近的表现,常见的弹力、摩擦力是由电磁力引起的。

本章研究这几种常见力的特点与规律。

2.1 常见的力

目标要求

了解重力、弹力和摩擦力的概念，知道重力和弹力的方向判断；了解弹力产生条件和胡克定律；理解静摩擦力和滑动摩擦力的概念，会判断简单情况下静摩擦力和滑动摩擦力的方向，并能利用公式计算滑动摩擦力。

力

从日常生活和劳动生产中（如图 2-1 所示），人们认识到力是物体之间的相互作用。



图 2-1 力的相互作用

一个物体受到力的作用，一定有另外的物体对其施加了这种作用。前者是受力物体，后者是施力物体。力是不能脱离施力物体和受力物体而单独存在的。

力的图示 力不仅有大小，而且有方向。力的大小可以用测力计（弹簧秤）来测量（图 2-2）。在国际单位制中，力的单位是牛顿，简称牛，符号是 N。

用一条带箭头的线段来表示力的大小、方向和作用点，这种表示方法叫做力的图示。图 2-3 表示水平向右的 50 N 的力。

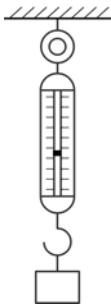


图 2-2 弹簧秤

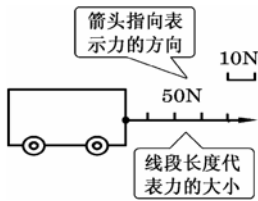


图 2-3 力的图示

有时，我们只在图中画出力的方向，并没有准确表示出力的大小，这种表示方法叫做力的示意图。

力的种类 从力的性质来看，常见的力有三类，即重力、弹力和摩擦力。生活中，还会把一些力称为拉力、压力、支持力、动力、阻力等，这些都是根据力的作用效果来命名

的。效果不同的力，性质可以相同。例如，压力和支持力都是弹力，只是效果不同。效果相同的力，性质也可以不同。例如，不论什么性质的力，从效果上看，能加快物体运动的力就可以称为动力；能阻碍物体运动的力就可以称为阻力。

重力

地球上一切物体都受到地球的吸引，这种由于地球吸引而产生的、方向竖直向下的力，叫做**重力**。一个物体受到 100 N 的重力，也可以说这个物体的重量是 100N。

重力不仅有大小，而且有方向。成熟的苹果从树上落向地面时，总是竖直下落的；悬挂物体的绳子静止时总是竖直下垂的。可见，重力的方向是竖直向下的。

重力的大小可以用关系式 $G=mg$ 来计算，式中 $g=9.8\text{ N/kg}$ ，表示质量是 1kg 的物体受到的重力是 9.8 N。

重心 地球对物体的重力作用分布在物体的各个部分。从总效果上看，我们通常认为整个物体受到的重力作用在物体的一个点上，这个点叫做物体的**重心**。

质量均匀分布的物体叫做均匀物体。有规则形状的统一物体，它的重心就在其几何中心。均匀球体、均匀圆柱和均匀正方体的重心（C 点）如图 2-4 所示。

弹力

被拉伸或压缩的弹簧可以使小球运动起来，被跳水运动员压弯的跳板对运动员产生力的作用，可以把运动员弹起来（图 2-5）。这些物体在伸长、缩短或弯曲时，它们的形状或体积发生改变叫做**形变**。发生形变的物体由于要恢复原状，对阻碍它恢复形变的物体要产生力的作用，这种力称为**弹力**。地球对物体产生重力，并不需要物体与地球直接接触，而弹力作用时只能产生在直接接触并发生形变的物体之间。

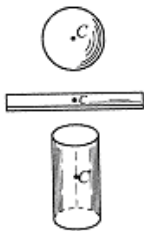


图 2-4 重心

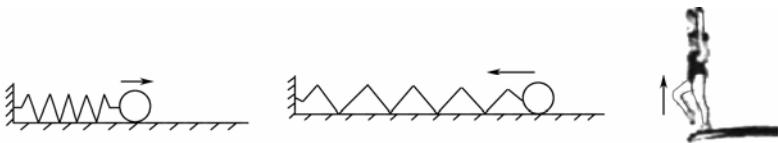


图 2-5 弹力

在力的作用下，弹簧、跳板等发生形变。实际上任何物体在受力时都要发生形变，研究表明，只要有力的作用，哪怕极其微小，物体都会发生形变。但有时形变太小，我们用眼看不到。



实验探究

找一个大玻璃瓶，装满水，瓶口用中间插入细管的瓶塞塞紧（图 2-6）。用手按压玻璃瓶，细管中的水面就上升；松开手，水面又降回原来的位置。



图 2-6 显示瓶内水的微小形变

在弹性限度内弹力的大小与形变的大小有关系，形变越大，弹力越大；形变消失，弹力也随之消失。

胡克定律 精确实验表明，在弹性限度内，弹簧的弹力 F 与弹簧的形变 x 成正比，即 $F = kx$ 。弓箭手把弓拉得越满，箭就射得越远就是这个道理。式中 k 叫做弹簧的倔强系数，不同弹簧倔强系数也不同，单位为牛/米 (N/m)。

例题 1 一本书放在桌面上，试分析产生于书和桌面之间的弹力 (图 2-7)。

解 由于书有重量，因此书和桌面之间产生相互挤压，从而使书和桌面同时产生微小的形变。书由于发生微小形变，对桌面产生垂直桌面向下的弹力 F_1 ，即书对桌面的弹力 (压力)；桌面由于发生微小形变，对书产生垂直桌面向上的弹力 F_2 ，即桌面对书的弹力 (支持力)，如图 2-7 所示。

可见，通常所说的物体间相互挤压而产生的压力和支持力都是弹力，压力的方向垂直于支撑面指向被压物体，支持力的方向垂直于支撑面指向被支持的物体。

例题 2 电线下方悬挂电灯，试分析产生于电线和电灯之间的弹力。

解 由于电灯有重量，使电灯和电线同时产生一个微小形变。电灯由于发生微小的形变，对电线产生竖直向下的弹力 F_1 ，这就是电灯对电线的拉力；电线由于发生微小的形变，对电灯产生竖直向上的弹力 F_2 ，这就是电线对电灯的拉力，如图 2-8 所示。

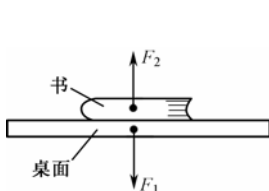


图 2-7 例题 1 图

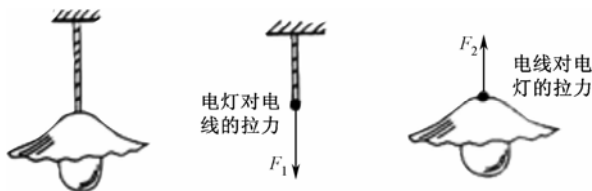


图 2-8 例题 2 图

可见，通常所说的拉力也是弹力，绳的拉力指绳对所拉物体的弹力，方向沿着绳子背离所拉物体。

摩擦力

摩擦力产生于两个相互接触的物体表面之间。

滑动摩擦力 当一个物体在另一个物体表面滑动时，要受到另一个物体的阻碍，这种阻碍两个物体间相对滑动的力叫做滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总是与接触面相切，并且与物体的相对滑动方向相反，如图 2-9 所示。

实验表明：滑动摩擦力跟正压力成正比。如果用 f 表示滑动摩擦力，用 N 表示正压力，则有

$$f = \mu N$$

其中， μ 是动摩擦因数，没有单位，它的数值大小与两个相互接触表面的材料及接触面情况 (如粗糙程度) 有关。

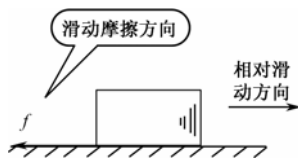


图 2-9 摩擦力的方向

做一做

体会一下，分别在水泥地、瓷砖地、地毯上拖动同一个行李箱，所用的力有什么不同。

除了滑动摩擦，还有滚动摩擦。**滚动摩擦**是指一个物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦。滚动摩擦比较小，在一些电器、机械设备上安装滚轮，就是基于这个道理。

表 2-1 几种常见材料的动摩擦因数

材料	动摩擦因数	材料	动摩擦因数
钢——钢	0.25	钢——冰	0.02
木——木	0.3	木头——冰	0.03
木——金属	0.2	橡胶轮胎——路面(干)	0.71
皮革——铸铁	0.28		

例题 3 车床底座是用铸铁制成的，铸铁与地面间的动摩擦因数为 0.30。要缓慢地移动一质量为 $2.0 \times 10^3 \text{ kg}$ 的车床，需在水平方向对车床施加多大拉力？

解 车床共受到重力、拉力、地面的弹力（支持力）及摩擦力作用（图 2-10），其中

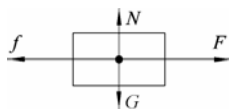


图 2-10 受力分析

$$G = N = mg = 2.0 \times 10^3 \times 9.8 \text{ N} = 1.96 \times 10^4 \text{ N}$$

$$f = \mu N = 0.30 \times 1.96 \times 10^4 \text{ N} = 5.88 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F = f = 5.88 \times 10^3 \text{ N}$$

计算结果告诉我们，移动车床需要 $5.88 \times 10^3 \text{ N}$ 的力。

静摩擦力 滑动摩擦是一个物体在另一个物体表面上滑动时产生的。互相接触的两个物体处于相对静止时，是不是也存在摩擦呢？

在水平桌面上放置一木箱，将一根细绳的一端与箱子相连，另一端绕过定滑轮悬挂一个很轻的托盘（图 2-11）。刚开始时向托盘中放入少量的沙子，使细绳张紧，可以看到木箱并没有动。然后不断地向托盘中缓慢加入沙子，直到某一时刻，箱子突然动了起来。

实验中，刚开始向托盘中加沙子时，箱子受到了绳子的拉力，虽然箱子相对于桌面有滑动趋势，但箱子并没有动。这说明箱子与桌面之间发生了摩擦，而且摩擦力大小和绳子拉力大小相等、方向相反，相互平衡，从而使箱子保持静止。这时发生的摩擦叫做**静摩擦**。

静摩擦力的方向总与接触面相切，并且与物体相对运动趋势的方向相反。例如，停在斜坡上的汽车，有向下滑动的趋势，所受静摩擦力方向沿斜坡向上（图 2-12）。皮带运输机（图 2-13）也是靠货物与传送带之间的静摩擦力，把货物送至别处的。

在前面的实验中，不断地向托盘中加沙子，箱子仍旧保持不动，这说明箱子所受的静摩擦力随着绳子拉力的增大而增大。但是静摩擦力的增大并不是无限度的，当箱子即将开始运动时，静摩擦力便达到了最大值，这时的静摩擦力就叫做**最大静摩擦力**，用 f_{\max} 表示。

可见，静摩擦力大小随着物体受力情况的变化而变化，它的大小介于零和最大值 f_{\max} 之间。

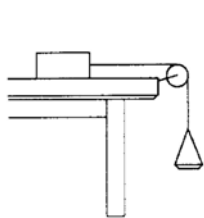


图 2-11 静摩擦实验

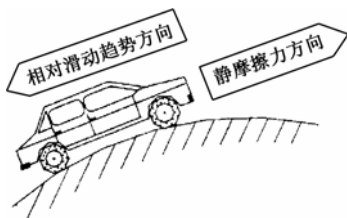


图 2-12 静摩擦力方向

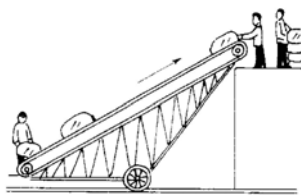


图 2-13 静摩擦应用

静摩擦存在是很难避免的。尽管摩擦大多是有害的，但我们又离不开摩擦：人们在路面上行走，用手拿起瓶子等，都需要依赖静摩擦力。

阅读材料

难以琢磨的摩擦

说起摩擦，大家都不陌生，因为我们每时每刻都在和摩擦打交道：走路、吃饭、洗衣服依靠摩擦；各种车辆的行使依靠摩擦，机器运转离不开摩擦；就是建造房子也离不开摩擦。

假如没有了摩擦，世界将会变成什么样？真是不可想象。可以说，摩擦是我们人类离不开的好朋友。但是在很多场合，摩擦三兄弟扮演着“不受欢迎”的角色。在现代汽车中，20%的功率要用来克服摩擦；飞机上的活塞式发动机因摩擦损耗的功率要占 10%，就是最先进的涡轮喷气发动机也要为克服摩擦损耗 2% 的功率。

当飞机着陆的时候，闸阀和闸轮会摩擦产生红热现象，这样的高温使机闸材料变软、变质，一幅价格昂贵的闸瓦和闸轮，往往只使用了几次就报废了。

当宇宙飞船返回地面的时候，由于高速船体与空气之间的摩擦，会使整个船体成为一个通红的火球，为了保护飞船里的宇航员和各种仪器设备，人们不得不付出昂贵的代价，用耐高温的特种合金制造船体，并且还在外面加装了耐高温材料。为了能驾驭摩擦，让摩擦为人类更好地服务，人们一直进行着艰苦的研究和探索。但人类一直未能如愿。早在 15 世纪，达·芬奇就开始了摩擦的研究。到 17、18 世纪，法国形成了一股摩擦研究热，库仑根据达·芬奇的想法完成了摩擦起因的凹凸说。到了 18 世纪上半叶，有人又提出了分子说。进入 20 世纪后又出现了黏合说。

可以说有关摩擦起因的争论还在进行着，凹凸说、分子说和黏合说都持之有理，言之有据，究竟怎样圆满地解释摩擦的起因，还一直是一个很活跃的研究课题。

想想练练

1. 画出下面几个物体所受重力的图示。

(1) 放在水平桌面上的质量 $m=0.05\text{kg}$ 的墨水瓶。

(2) 沿着滑梯下滑的质量为 $m=20\text{kg}$ 的小孩。

(3) 抛出后在空中飞行的质量为 $m=4\text{kg}$ 的铅球。

2. 质量均匀的钢管，一端支在水平地面上，另一端被竖直绳吊着，如图 2-14 所示，钢管受到几个力的作用，各是什么物体对它的作用？画出钢管受力的示意图。



图 2-14 第 2 题图

3. 重量为 100N 的木箱放在水平地板上, 至少要用 35N 的水平推力, 才能使它从原地开始运动。木箱从原地移动以后, 用 30N 的水平推力, 就可以使木箱继续做匀速运动。由此可知: 木箱与地板间的最大摩擦力是 $f_{\max} =$ _____; 木箱所受的滑动摩擦力 $f =$ _____, 木箱与地板间的动摩擦因数 $\mu =$ _____。如果用 20N 的水平推力推木箱, 木箱所受的摩擦力是 _____。

2.2 力的算法

目标要求

了解合力、分力的概念; 理解力的合成与分解, 掌握力的平行四边形定则, 并能进行简单的计算。

力的合成

如果物体同时受到几个力的作用, 而它们都作用在物体的同一点, 或者它们的作用线相交于同一点, 那么这几个力就叫做**共点力**, 如图 2-15 所示。下面研究共点力的合成。

如图 2-16 所示, 一盏灯可以有两种挂法。在两个拉力 F_1 和 F_2 的共同作用下, 灯保持静止, 这跟一个拉力 F 的作用效果完全相同。从效果上看, 用一个力 F 可代替两个力 F_1 和 F_2 。

如果一个力作用在物体上, 跟几个力作用在物体上的效果相同, 这个力就叫做那几个力的**合力**, 那几个力叫做这个力的**分力**。求几个力的合力叫做**力的合成**。

同一直线上的力(矢量)合成 如果几个力处在一条直线上, 就可以设定一个正方向, 用正号或负号来表示力的方向: 力的方向与正方向相同时取正值, 力的方向与正方向相反时取负值。

例如, 一物体在竖直方向受到 3 个力的作用, 大小分别为 $F_1=2\text{N}$ 、 $F_2=3\text{N}$ 、 $F_3=4\text{N}$ 。如果设定竖直向上为正方向, 那么, 这 3 个力的合力为

$$F_{\text{合}} = F_1 + F_2 - F_3 = (2 + 3 - 4) \text{ N} = 1 \text{ N}$$

如图 2-17 (a) 所示, $F_{\text{合}}$ 为正值, 表示合力方向与正方向一致。

如果设定竖直向下为正方向, 那么, 这 3 个力的合力为

$$F_{\text{合}} = F_3 - F_1 - F_2 = (4 - 2 - 3) \text{ N} = -1 \text{ N}$$

如图 2-17 (b) 所示, $F_{\text{合}}$ 为负值, 表示合力方向与正方向相反。

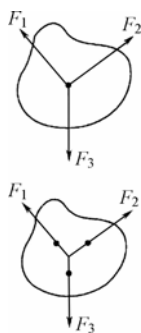


图 2-15 共点力

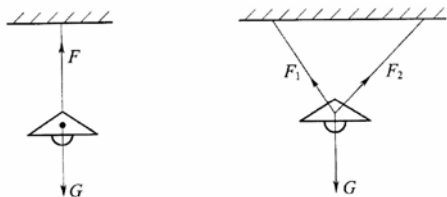


图 2-16 合力与分力

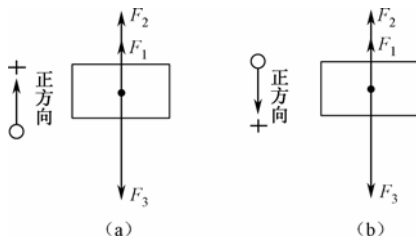


图 2-17 在同一直线上的力的合成

研究力的合成

图 2-18 (a) 表示橡皮条 GE 在两个力的共同作用下, 沿着直线 GC 伸长了 EO 这样的长度。图 2-18 (b) 表示用一个力 F 作用在橡皮条上, 使橡皮条沿着相同的直线伸长相同的长度。

在力 F_1 和 F_2 的方向上各作线段 OA 和 OB , 根据选定的标度, 使它们的长度分别表示力 F_1 和 F_2 的大小, 如图 2-18 (c) 所示。以 OA 和 OB 为邻边作平行四边形 $OADB$ 。量出这个平行四边形的对角线 OD 的长度。改变力 F_1 和 F_2 的大小和方向, 重做上述实验。

实验表明: 如果用表示共点力 F_1 和 F_2 的线段为邻边作平行四边形, 那么, 合力 F 的大小和方向就可以用这两个邻边之间的对角线来表示 (图 2-19)。这叫做力的平行四边形定则。

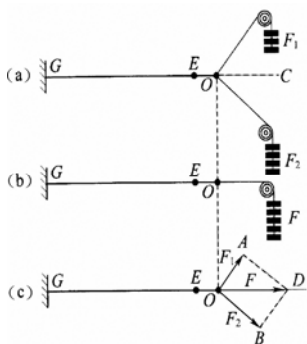


图 2-18 研究力的合成

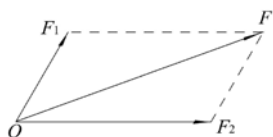


图 2-19 力的平行四边形定则

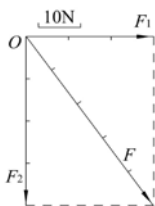


图 2-20 例题 1 图

例题 1 力 $F_1=30\text{N}$, 方向水平向右; 力 $F_2=40\text{N}$, 方向竖直向下, 用作图法求这两个力的合力 F 的大小和方向。

解 选择某一标度, 如取 10mm 长的线段表示 10N 的力, 作出力的平行四边形。如图 2-20 所示, 表示 F_1 的线段长 30mm , 表示 F_2 的线段长 40mm 。

用刻度尺量得表示合力 F 的对角线长为 50mm , 所以合力的大小 $F=10 \times 50/10=50\text{N}$ 。

用角度尺量得合力 F 与力 F_1 的夹角为 53° 。

即合力的大小为 50N , 其方向与力 F_1 成 53° 夹角。

实验探究

同学们自己动手找四根塑料吸管, 将它们之间用大头针连接起来, 制作一个平行四边形。然后, 不断改变平行四边形两相邻边之间的夹角 θ , 观察并回答:

- (1) θ 由 0° 增大到 180° 的过程中, 对角线的长度怎样变化?
- (2) 什么情况下对角线的长度最大? 什么情况下最小?
- (3) 对角线的长度是否总是大于两个邻边的长度?

由此实验, 你对分力与合力的大小关系, 有了什么进一步理解?

想一想

如何用平行四边形法则求两个以上共点力的合力（图 2-21）？

如果两个以上的力作用在一个物体上，也可以应用平行四边形法则求出它们的合力：先求出任意两个力的合力，再求出这个合力与第三个力的合力……直到把所有的力都合成进去，最后得到的结果就是这些力的合力。

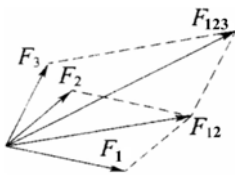


图 2-21 多个力的合成

力的分解

实验探究

将一本书挂在一个测力计上，如图 2-22 所示，测力计示数为 3N。改用两个平行的测力计来代替原来的测力计，测力计示数为 1.5N。如果改变两个测力计之间的夹角，两测力计示数也随之改变。

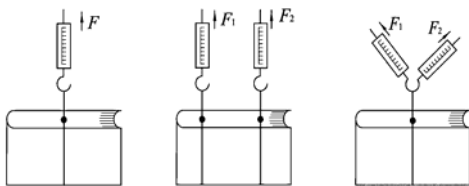


图 2-22 不同力作用下的书

实验中，无论两个测力计之间的夹角为多大，两个测力计的示数怎样变化，两个测力计的拉力 F_1 和 F_2 的作用效果始终与原来一个测力计的拉力 F 的作用效果相同。可见，拉力 F 可以用两个力 F_1 和 F_2 来代替，力 F_1 和 F_2 就叫做力 F 的分力。求一个已知力的分力叫做力的分解。

实验探究

如图 2-22 所示的实验中，用平行四边形法则将 3N 的拉力沿两测力计的方向分解，验证所求得的两分力 F_1 和 F_2 与原测力计的示数有什么不同？

力的分解是力的合成的逆运算，同样遵守平行四边形法则。把表示已知力的线段作为平行四边形的对角线，作平行四边形，与对角线相邻的两条边就表示两个分力。

在数学上,如果没有其他限制,对于同一条对角线,可以作无数个不同的平行四边形,如图 2-23 所示。也就是说,同一个力可以分解为无数对不同的分力。一个力怎样分解,要根据实际情况和需要来确定。

例题 2 把一个物体放在倾角为 θ 的斜面上,物体受到竖直向下的重力,但它并不能竖直下落,从力的作用效果看,应该怎样将重力分解?两个分力的大小与斜面的倾角有什么关系。

分析 物体沿斜面下滑,同时会使斜面受到压力。这时重力产生两个效果;使物体沿斜面下滑和使物体紧压斜面。因此,重力 G 应分解为这样两个分力:平行于斜面使物体下滑的分力 F_1 ,垂直于斜面使物体紧压斜面的分力 F_2 ,如图 2-24 所示。

解 由几何关系可知, $\angle DOE$ 等于 θ , 所以

$$F_1 = G \sin \theta$$

$$F_2 = G \cos \theta$$

可以看出, F_1 和 F_2 的大小都与斜面的倾角有关。斜面的倾角 θ 增大时, F_1 增大, F_2 减小。

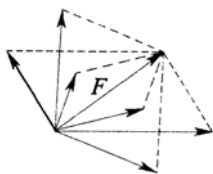


图 2-23 力的分解

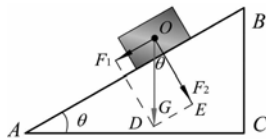


图 2-24 放在斜面上的物体

想一想

一辆小汽车陷入道路旁的泥潭中,乘客用尽全力仍然不能将小汽车拉出来。根据本节学习,你有什么办法能把汽车拉出泥潭吗?

想想练练

1. 有两个力共同作用在物体上,一个力为 8N,另一个力为 12N,则物体受到最大的作用力是_____,受到的最小作用力是_____。
2. 有两个力,一个是 10N,另一个是 2N,它们的合力可能是 5N, 10N, 15N 吗?
3. 两个力 F_1 和 F_2 的夹角为 θ , 两个力的合力为 F 。以下说法是否正确?
 - (1) 若 F_1 和 F_2 大小不变,夹角 θ 越小,合力 F 就越大。
 - (2) 合力 F 总比分力 F_1 和 F_2 中的任何一个力都要大。
 - (3) 如果夹角 θ 不变, F_1 大小不变,只要 F_2 增大,合力 F 就必然增大。
4. 一个竖直向下的 180N 的力分解为两个分力,一个分力在水平方向上并等于 240N,求另一个分力的大小和方向。

2.3★ 共点力作用下物体的平衡

目标要求

了解物体受力分析的基本方法，能结合物体运动状态分析物体受力情况；理解共点力作用下物体的平衡条件；知道物体的平衡在生产、生活中的一些应用。

物体的受力分析

学习了有关力的基础知识以后，就可以通过分析知道物体受到哪些力的作用，这个过程叫做物体的受力分析。

物体的受力分析是研究物体运动状态的关键，也是解决力学问题的基本环节。那么，怎样对物体进行受力分析呢？

受力分析的一般方法 首先，要明确所分析的物体是哪一个，并把这个物体从其他物体中隔离出来；其次，要把作用在这个物体上的所有的力逐一分析清楚；最后，把物体所受到的每一个力，用力的示意图表示出来，即得到物体的**受力图**。

受力分析的应用实例

例题 1 在一固定的斜面上，一木块沿着斜面向下滑动，如图 2-25 (a) 所示，分析木块的受力情况。

解 木块受力情况如下：

- (1) 木块受到重力 G ，方向竖直向下。
- (2) 木块受到斜面施加的弹力，方向垂直于斜面向上。
- (3) 木块还受到斜面施加的滑动摩擦力，方向沿斜面向上。

可见，木块共受 3 个力，受力图如图 2-25 (b) 所示。

例题 2 两木块叠放在水平地面上，处于静止状态，分别分析两木块的受力情况。

解 木块 A：受到重力 G_A ，方向竖直向下；木块 B 对它的支持力 N_1 ，方向竖直向上。

木块 B：受到重力 G_B ，方向竖直向下；木块 A 对它的弹力即压力 N_1' ，方向竖直向下；地面对它的支持力 N_2 ，方向竖直向上。

两木块 A、B 的受力图如图 2-26 所示。

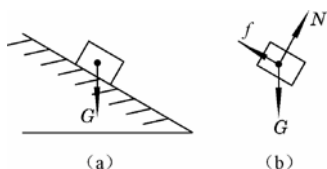


图 2-25 例题 1 受力图

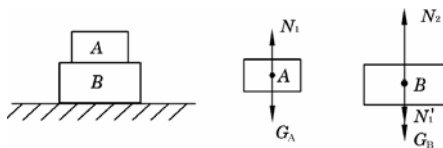


图 2-26 例题 2 受力图

物体的平衡

一个物体可以处于不同的运动状态，其中力学中的平衡状态比较常见，而且很有实际意义。如桥梁、起重机、建筑物等，都需要保持平衡状态，那么什么是物体的平衡状态呢？物体在什么条件才能处于平衡状态呢？

一个物体如果保持静止或做匀速直线运动，我们就说这个物体处于平衡状态。一个受共点力作用的物体，在什么条件下才能保持平衡呢？

实验探究

如图 2-27 所示，将 3 个弹簧秤放在一个平面内，并将 3 个弹簧秤的挂钩挂在同一个物体上，先将其中的两个按某一角度固定起来，然后用手拉第三个弹簧秤。平衡时分别记下 3 个弹簧秤的示数，并按各力的大小、方向作出力的图示。根据力的平行四边形法则，看看这 3 个力有什么关系。

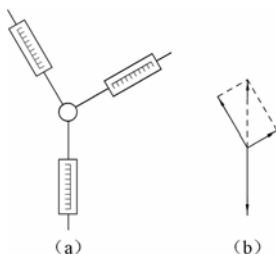


图 2-27 研究力的平衡

想一想

在上面的实验里，当物体保持平衡时，任意两个力的合力与第三个力有什么样的关系？如果你知道二力的平衡条件，你能否推出共点力的平衡条件，怎么推导？

实验表明，这 3 个力的合力为零。作用在物体上的几个力的合力为零，这种情形叫做力的平衡。

理论与实践证明，当物体所受的合力为零时，物体将保持静止或匀速直线运动，即物体处于平衡状态，因此，在共点力作用下物体的平衡条件是合力为零。即

$$F_{\text{合}}=0$$

想想练练

1. 一个物体静止在倾角 $\theta=30^\circ$ 斜面上，物体的质量 $m=10\text{kg}$ ，物体对斜面的压力有多大？物体所受静摩擦力的方向是怎样的？静摩擦力有多大？
2. 一个质量 $m=59\text{kg}$ 的物体，在平行于斜面的拉力 F 作用下，沿倾角为 $\theta=30^\circ$ 的斜面匀速运动，如图 2-28 所示，已知斜面的动摩擦系数 $\mu=0.3$ 。求拉力 F 为多大。

3. 如图 2-29 所示，用一根绳子 a 把物体挂起来，再用另一根水平的绳子 b 把物体拉向一旁固定起来，物体的重量 $G=40\text{N}$ ，绳子 a 与竖直方向夹角 $\theta=30^\circ$ 。绳子 a 和 b 对物体的拉力分别是多大？

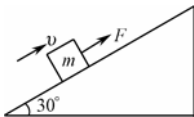


图 2-28 第 2 题图

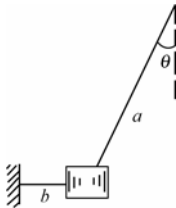


图 2-29 第 3 题图

2.4★ 有固定转动轴的物体的平衡

目标要求

了解力矩的概念、力矩的平衡条件，并能进行简单计算；知道力矩平衡在生产、生活中的一些应用。

力矩

观察图 2-30 你就会发现，门、钟表、机器飞轮等，都是有固定转动轴的物体，它们都能绕转动轴转动。一个有固定转动轴的物体，在力的作用下，如果保持静止或匀速转动状态，我们称这个物体处于**转动平衡状态**。

力矩 同样大小的力作用在物体的不同方位，作用效果是不一样的。例如，在离门转动轴较远的地方推门用力较小；而在离门转动轴较近的地方推门则用力较大。用手直接拧螺母较难拧松，而使用扳手后，就能很容易地将螺母拧松，如图 2-31 所示。



图 2-30 门与钟表



图 2-31 扳手

可见，力的作用效果除了与力的大小有关外，还与力到转动轴之间的距离有关。

我们把力和转动轴之间的距离叫做**力臂**。在图 2-32 中， L_1 是 F_1 对转动轴的力臂， L_2 是 F_2 对转动轴的力臂。**力 F 和力臂 L 的乘积叫做力对转动轴的力矩**。用 M 表示力矩，则有

$$M=FL$$

在国际单位制中，力矩的单位是**牛·米**，符号是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

力对物体转动作用决定于力矩的大小，力矩越大，力对物体的转动作用越大。力为零，力矩也为零，显然不会使物体发生转动；力不为零，只要力臂为零，力矩同样为零，这个力对物体也不会产生转动的效果。

社会调研

平时使用的剪刀大多数都是手柄长而刀头短，这是为什么？但是，理发师用的剪刀，刀头长而手柄短，这又是为什么？

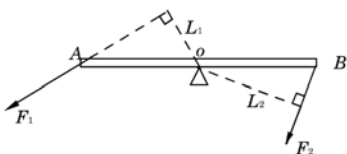


图 2-32 力与力矩

有固定转动轴的物体的平衡

力矩可以使有固定转动轴的物体向不同方向转动。在图 2-32 中， F_1 的力矩 M_1 使杠杆向逆时针方向转动， F_2 的力矩 M_2 使杠杆向顺时针方向转动。如果这两个力矩大小相等，将使杆 AB 保持平衡，这就是力矩平衡。

如果一个物体受多个力矩作用，那么物体平衡的一般条件是什么呢？

实验探究

图 2-33 所示的圆盘可以绕通过中心 O 并垂直于盘面的轴转动。使圆盘在力 F_1 、 F_2 和 F_3 的力矩作用下处于平衡状态。量出这 3 个力的力臂 L_1 、 L_2 和 L_3 ，分别计算使圆盘向顺时针方向转动的力矩 $M_1=F_1L_1$ 、 $M_2=F_2L_2$ 和使圆盘向逆时针方向转动的力矩 $M_3=F_3L_3$ ，看看有什么规律。

实验表明：圆盘静止（转动平衡）时，圆盘向顺时针方向转动的力矩之和等于圆盘向逆时针方向转动的力矩之和，即

$$M_1 + M_2 = M_3$$

如果规定使物体向逆时针方向转动的力矩为正，使物体向顺时针方向转动的力矩为负，那么上述表达式可以表述为：有固定转动轴的物体的平衡条件是力矩的代数和等于零。即

$$M_1 + M_2 + M_3 + \cdots = 0$$

或者

$$M_{\text{合}} = 0$$

力矩平衡条件的应用

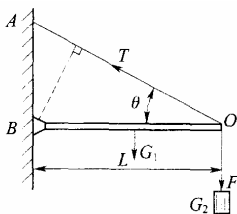


图 2-34 例题图

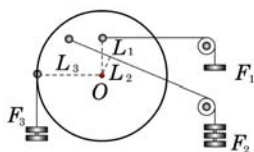


图 2-33 力矩平衡实验

例题 如图 2-34 所示，质量均匀的杆 BO 可绕 B 轴转动，杆 BO 的重量 $G_1=100\text{N}$ 。钢绳 AO 与杆的夹角 $\theta=30^\circ$ ，在杆 BO 的端点 O 处挂一重量为 $G_2=600\text{N}$ 的重物，为使水平横梁安全平衡，求钢绳的抗断拉力应不小于多少牛？

分析 取杆 BO 为研究对象（设其长为 L ），这是一个能绕固定轴 B 转动的物体，在 3 个力矩的作用下保持平衡： BO 自重产生的力矩 $G_1 \times \frac{L}{2}$ ；重物引起的拉力 F 产生的力矩 $F \times L$ ；

钢绳拉力 T 产生的力矩 $T \times L \sin \theta$ 。

解 取杆 BO 为研究对象, 由力矩平衡的条件可得

$$T \times L \sin \theta - G_1 \times \frac{L}{2} - F \times L = 0$$

由 $F=G_2$, 代入上式可得

$$T \times L \sin \theta - G_1 \times \frac{L}{2} - G_2 \times L = 0$$

由此得

$$T = \frac{G_1 + 2G_2}{2 \sin \theta} = \frac{100 + 2 \times 600}{2 \times 0.5} \text{ N} = 1300 \text{ N}$$

可见, 钢绳的抗断拉力不能小于 1300 N。

力偶

钳工用铰刀铰孔时, 如果用一只手, 铰刀能够转动, 但是铰刀很容易被折断。

那么, 怎样才能避免铰刀折断呢?

如果同时在铰刀的两只手柄上施加力 (如图 2-35 所示), 并保持两个力大小相等、方向相反, 那么这两个力就能使铰刀只产生转动。

工程上, 把大小相等、方向相反、作用线相互平行的一对力叫做力偶。

力偶矩 力偶会使物体转动, 它的转动作用与哪些因素有关呢?

在图 2-35 中, 在铰刀手柄上施加的两个力越大, 两个力的作用线相距越远, 力偶的转动作用就越大。我们把两个力的作用线之间的距离 d 叫做力偶臂, 把力 F 的大小与力偶臂 d 的乘积叫做力偶矩, 用 M 表示, 则有

$$M = Fd$$

在国际单位制中, 力偶矩的单位是牛·米, 符号是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

力偶对物体的转动作用取决于力偶矩的大小, 力偶矩越大, 力偶的转动作用就越大。

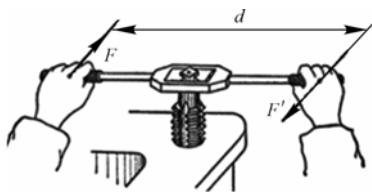


图 2-35 力偶

阅读材料

怎样才能使物体最稳定?

物体怎样放最稳定? 这就是稳度问题。铅笔盒平放最稳, 侧放就较易翻倒, 立放最不稳。这是因为平放时支持铅笔盒的面积 (叫做支面) 最大, 立放时支面最小。而物体的支面越大, 稳度就越大。

铅笔尖的面积很小, 所以立不稳。把它扎在橡皮上, 支面变成了橡皮那么大, 就稳了。

生活中, 三条腿的圆凳, 腿常常斜向外边; 台灯下面有个大底座; 瓶子底比瓶口大; 大烟囱下边比上边粗。这些都是用加大支面的办法来提高稳度。类似的例子, 你还能举出一些吗?

降低物体重心也能提高稳度。例如，塔式起重机能将成吨的重物一抓就起。为了使它不翻倒，塔式起重机上设计了一个压重架，而压重架里放置着沉重的钢锭。这样，它的重心就降下来了。

明代航海家郑和驾驶帆船，在惊涛骇浪中穿越了太平洋、印度洋，访问了亚非 30 多个国家。在远航中，郑和在帆船的底舱里放置了大量的沙石，这样做的好处是什么？

想想练练

1. 当我们开关门窗时，如果力的作用线通过转动轴，不论用多大的力也不能把门窗打开或者关上，为什么？

2. 如图 2-36 所示， OAB 是一个弯成直角的杆，可绕通过 O 点垂直于纸面的轴转动，杆的 OA 段长 30cm， AB 段长 40cm，现用 $F=10\text{N}$ 的力作用在杆 OAB 上，要使力 F 对轴 O 的力矩最大。 F 应怎样作用在杆上？画出示意图，并求出此最大力矩。

3. 如图 2-37 所示，螺钉和螺母间最大静摩擦力对轴 O 的力矩为 $40\text{N} \cdot \text{m}$ ，若用长为 20cm 的扳手拧这个螺母，至少要在扳手上用多大的力才能拧动这个螺母？

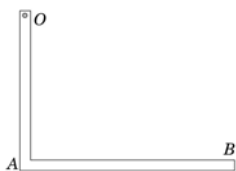


图 2-36 第 2 题图

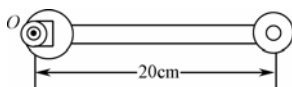


图 2-37 第 3 题图

本章小结

本章主要讲述了力（包括重力、弹力和摩擦力）的一些概念和运算方法，进而研究了物体的平衡及其条件：

1. 力的概念：力的物质性和相互性、力的分类、力的图示、力的测量、力的作用效果。

2. 重力、弹力和摩擦力（静摩擦力、滑动摩擦力）的产生条件、大小（重力 $G=mg$ 、胡克定律 $F=kx$ 、滑动摩擦力 $f=\mu N$ ）的计算和方向的判断。

3. 力的合成与分解（合力、分力及共点力）——力的平行四边形定则。

4. 物体的受力分析，共点力作用下物体的平衡（ $F_{\text{合}}=0$ ）及其应用。

5. 力矩的概念和计算（ $M=FL$ ），有固定转动轴的物体的平衡（ $M_{\text{合}}=0$ ）及其应用。

第 3 章 牛顿运动定律



前面我们学习了运动与力，但是没有深入讨论物体运动与力的关系。在力学中，只研究物体怎样运动而不涉及运动和力的关系的学科，叫做运动学；研究运动和力的关系的学科，叫做动力学。

动力学知识在生产和科学研究中是很重要的，设计各种机器，控制交通工具的速度，研究天体运动，计算人造卫星的轨道等，都离不开动力学知识。动力学的奠基人是英国科学家牛顿，牛顿在 1687 年出版了他的名著《自然哲学的数学原理》。在这部著作中，牛顿提出了三条运动定律，这三条定律总称为牛顿运动定律，是整个动力学的基础。这一章我们要学习的就是牛顿运动定律。

3.1 牛顿第一运动定律

目标要求

理解牛顿第一运动定律，掌握质量是物体的惯性大小的量度，会利用惯性概念解释常见的物理现象。

在日常生活中我们常常这样认为，物体受到力的作用，就会运动；一旦失去力的作用，没有力作用在物体上，运动就会停止（图 3-1）。在公元前 4 世纪，古希腊学者亚里士多德就提出了这样的观点。然而事实果真如此吗？



图 3-1 力与运动的关系

17 世纪，崇尚真理、不迷信权威的伽利略在分析了物体运动的原因后，指出摩擦力在人们常见的物体运动中是普遍存在的，正是没有考虑它的存在，人们才产生了类似亚里士多德的错误观点。为此，他精心设计了理想斜面实验，并经过严密的逻辑推理，彻底推翻了亚里士多德的错误结论。

伽利略指出，如果不受任何力的作用，物体将永远运动下去。

牛顿第一运动定律

牛顿第一运动定律 牛顿在伽利略等人研究的基础上，进一步研究并总结出一条基本定律。一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。这就是牛顿第一运动定律。

想一想

运动场上，踢飞的足球，已失去了脚对它的作用，为什么还在运动？

惯性 牛顿第一运动定律表明，如果物体不受力的作用，物体将作匀速直线运动或保持静止状态。也就是说，物体具有保持匀速直线运动或静止状态的性质，我们把这个性质叫做惯性。因此，牛顿第一运动定律又叫做惯性定律。

在日常生活中，人们每天都在和惯性打交道，也许还受过它的戏弄呢。例如，人在奔跑的时候常被绊倒，这是因为当脚被障碍物绊住的时候，由于惯性上半身继续向前冲去，身体便失去平衡，跌倒在地。

惯性并不总跟人作对，有些时候它也能帮助我们。例如，如图 3-2 所示木柄铁锤锤头松了，只要把锤子倒立，在硬物上敲击几下，锤头便紧紧地套在木柄上了。



图 3-2 惯性的应用实例

想一想

在高速行驶的火车里，人向上跳起后仍落回原地。这是为什么？

惯性与质量 惯性是物体的属性，不同物体的惯性是不同的。实验和分析表明：质量大的物体保持原有运动状态的本领大，即惯性大。这就是说，质量是物体惯性大小的量度。

人们通过增大或减小物体质量，可以改变物体的惯性大小。例如，客机行驶时要求较高的平稳性，因此机身质量一般都比较大；而歼击机需要高度的机动灵活性，它的机身质量就得小一些，且作战前常常还要抛掉副油箱（图 3-3）就是为了减少质量，减小惯性，增强作战的灵活性。



图 3-3 飞机抛油箱增强机动性

力是改变物体运动状态的原因 牛顿第一运动定律告诉我们，物体的运动并不需要力来维持，但是，力能使物体运动状态发生改变。例如，在水平地面上用力推小车，小车由静止变为运动；而撤去外力后，摩擦力使小车由运动变为静止。

想想练练

1. 回答下列问题：

- (1) 飞机投弹时，如果发现目标在飞机的正下方时才投炸弹，能击中目标吗？为什么？
- (2) 地球在从西向东自转。你向上跳起来以后，为什么还落回原地，而不落到原地的西边？

2. 我国道路交通安全法规定，驾乘人员必须系好安全带。试从物理学的角度分析，为什么要做这样的规定？

3. 一个同学说，向上抛出的物体在空中向上运动时，肯定受到向上的作用力，否则它不可能向上运动。这个结论对吗？请你说明原因？

3.2 牛顿第二运动定律

目标要求

掌握牛顿第二运动定律，会运用牛顿第二运动定律进行简单计算。

牛顿第一运动定律指出，力不是维持物体运动的原因，而是改变物体运动状态的原因。而运动状态的变化就一定存在加速度。由此可得出结论：**力是使物体产生加速度的原因**。下面我们通过实验来研究力和加速度的关系。

加速度与力的关系

实验探究

实验装置如图 3-4 所示。取一块长直的带有两个定滑轮的平滑木板放在桌子边缘，让两辆小车并排放置在木板上，通过细线跨过定滑轮连接一个小盘，盘内放有砝码，小车所受水平拉力的大小 F 可以认为等于砝码和盘的重量大小。车的后面分别系上细线，用一个铁夹子同时夹住细线，以控制小车的运动和停止，保证它们既同时开始运动又同时静止。

打开夹子后，质量相等的两辆小车在不同的拉力作用下同时开始运动，经过一段距离后，合上夹子，使它们同时静止。

实验结果，当两辆小车所受拉力之比为 $1:2$ （盘内的砝码质量之比为 $1:2$ ）时，两车在相同时间内的位移之比也为 $1:2$ ；由 $s = \frac{1}{2}at^2$ 可知，两辆小车的加速度之比也为 $1:2$ 。

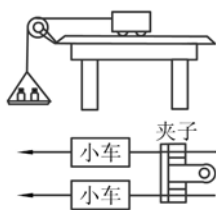


图 3-4 研究力与运动关系

实验表明：对质量相同的物体来说，物体的加速度与作用在物体上的力成正比，即物体质量 m 一定时，有

$$a \propto F$$

可见，若要使物体获得较大的加速度，就必须给物体施加较大的力。

例如，在水平地面上拖动同样的木箱，使木箱在 1s 内和在 10s 内的速度均由 0 达到 5m/s ，所需要的力是不同的，前者所需的力比后者要大得多。

加速度与质量的关系

实验探究

同样采用如图 3-4 所示的实验装置。让盘内所加砝码的质量相同，即保持小车受到的拉力相同，改变小车的质量（给小车添加不同的砝码），使两辆小车同时开始运动，并同时停止。实验发现，质量小的小车位移大，质量大的小车位移小。

实验表明：在相同力的作用下，物体的加速度与物体的质量成反比，即外力 F 一定时，有

$$a \propto \frac{1}{m}$$

例如，用同样大小的牵引力来启动车辆时，空车启动得快，说明空车获得的加速度大；载有重物的车启动得慢，即重车获得的加速度小。

牛顿第二运动定律

牛顿第二运动定律 通过大量实验分析，牛顿总结了加速度、力和质量三者的关系，指出：物体加速度的大小与物体作用力成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与作用力的方向相同。这就是牛顿第二运动定律。数学表达式为

$$a \propto \frac{F}{m}$$

或者

$$F \propto ma$$

这个比例式也可以写成等式

$$F=kma$$

式中 k 是比例系数。

力的单位 在国际单位制中，力的单位是牛顿。牛顿这个单位就是由牛顿第二运动定律定义的。当物体的质量是 $m=1\text{kg}$ ，在某力的作用下产生的加速度 $a=1\text{m/s}^2$ 时，则力的大小为 1 牛顿 ($1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$)，用 N 表示。由此可得，此时比例系数为 $k=1$ 。上述比例式写成

$$a = \frac{F}{m}$$

或者

$$F=ma$$

式中质量、加速度、力的单位分别是 kg 、 m/s^2 和 N。

如果物体受到多个力的作用，牛顿第二运动定律也是正确的。这时，公式中的 F 代表物体所受的合力。因此，牛顿第二运动定律更一般地表述为：物体的加速度的大小与物体所受的合力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向与合力的方向相同。数学表达式为

$$F_{\text{合}} = ma \quad \text{或} \quad a = \frac{F_{\text{合}}}{m}$$

力学单位制

用公式 $v = \frac{s}{t}$ 来求速度时，如果位移的单位用米，时间的单位用秒，则得出速度单位就是米每秒。同样，用 $F=ma$ 来求力，如果质量 m 的单位用千克，加速度 a 的单位用米每二次方秒，得出的力的单位就一定是千克米每二次方秒，我们已定义为牛顿。

可见物理公式在确定物理量的数量关系的同时，也确定了物理量的单位关系。因此只要选定几个物理量的单位，就能够利用物理量之间的关系推导出其他物理量的单位。这些被选定的物理量叫做**基本量**，它们的单位叫做**基本单位**。在上面的例子中，**长度、质量、时间是基本量**，它们的单位**米、千克、秒就是基本单位**。由基本量根据物理关系推导出来的其他物理量的单位，例如速度、力的单位，叫做**导出单位**，基本单位与导出单位一起组成了**单位制**。

在力学中，选定长度、质量、时间这三个物理量的单位作为基本单位，就可以导出其余的物理量的单位，选定这三个物理量的不同单位，可以组成不同的力学单位制。在国际单位（SI）中，这三个量的单位分别为米、千克、秒。对于热学、电磁学等学科，除上述

三个基本量和相应的基本单位外，还要加上另外的基本量和它们的单位，才能导出其他物理量的单位。

表 3-1 国际单位制的基本单位

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l	米	m
质量	m	千克（公斤）	kg
时间	t	秒	s
电流	I	安[培]	A
热力学温度	T	开[尔文]	K
物质的量	n	摩[尔]	mol
发光强度	I	坎[德拉]	cd

阅读材料

科学巨匠——牛顿



牛顿

牛顿（1643～1727）——伟大的科学家，经典力学理论体系的建立者，1643 年 1 月 4 日诞生在英格兰的林肯郡。他 12 岁上中学，学习成绩并不出众，只是爱好读书，喜欢深思，爱做小实验，对自然现象有好奇心。

牛顿于 1661 年进入剑桥大学三一学院。1665～1666 年伦敦鼠疫流行，学校停课，牛顿回到故乡。牛顿在剑桥受到数学和自然科学的培养和熏陶，对探索自然现象产生了极其浓厚的兴趣。

1665 年年初，他创立了数学中的级数。同年 11 月，创立了微分学。次年 1 月，牛顿研究颜色理论，5 月开始研究积分学。这一年內，牛顿还开始研究重力、月球的运动、行星的运动及其联系。

1687 年，牛顿出版了《自然哲学的数学原理》，其中阐述了他的三大运动定律。1704 年出版了《光学》。

牛顿曾经说过：“如果我所见到的比笛卡儿要远些，那是因为我站在巨人的肩上”；“我不知道世人怎么看，但在我自己看来，我只不过是一个在海滨玩耍的小孩，不时地为别人找到一块更光滑、更美丽的卵石和贝壳而感到高兴，而在我面前的真理的海洋，却完全是个谜。”从这些句话中，我们可以窥见牛顿那博大深邃的精神境界。

想 想 练 练

1. 由牛顿第二运动定律知道，无论怎样小的力都可以使物体产生加速度，可是我们用力提一个很重的物体时，却提不动它。这跟牛顿第二运动定律有没有矛盾？怎么样解释这个现象？
2. 一个物体受到 $F_1=4\text{N}$ 的力，产生 $a_1=2\text{m/s}^2$ 的加速度，要使它产生 $a_2=6\text{m/s}^2$ 的加速

度，需要施加多大的力？

3. 水平路面上质量 $m=30\text{kg}$ 的手推车，在受到 $F=60\text{N}$ 的水平推力时做加速度为 $a=1.5\text{m/s}^2$ 的匀加速度运动，如果撤去推力，车的加速度是多少？

4. 一辆速度为 $v=4\text{m/s}$ 的自行车，在水平公路上匀减速地滑行 $s=40\text{m}$ 后停止。如果自行车和人的总质量是 $m=100\text{kg}$ ，自行车受到的阻力是多少？

3.3 牛顿第三运动定律

目标要求

理解牛顿第三运动定律，会利用牛顿第三运动定律解释生产与生活中的有关问题。

作用力和反作用力

力是物体对物体的作用，只要有力，就一定有受力物体和施力物体。

作用力与反作用力 两个人面对面推手时，他们会同时受到对方施加的力。在平静的水面上，人从一只船上用力推另一只船，结果两只船将同时向相反方向运动，如图 3-5 (a) 所示。踢足球时，脚对足球施加了力，同时也感到足球对脚施加了力，如图 3-5 (b) 所示。更广泛的观察和实验都表明，两个物体之间的作用总是相互的。



图 3-5 研究作用力与反作用力的关系

一个物体对另一个物体施加力，另一个物体一定同时对前一个物体有力的作用。我们把物体间相互作用的这一对力叫做**作用力与反作用力**。如果把其中一个力叫做作用力，那么另一个力就叫做反作用力。

牛顿第三运动定律

作用力和反作用力之间存在什么关系呢？下面用实验研究这个问题。

实验探究

把两个弹簧秤 A 和 B 连接在一起（图 3-6）。用手拉弹簧秤 A，可以看到两个弹簧秤的指针同时移动。弹簧秤 B 的示数指出弹簧秤 A 对它的作用力 F 的大小，而弹簧秤 A 的示数指出弹簧秤 B 对它的反作用力 F 的大小。改变手拉弹簧秤的力，观察实验结果。

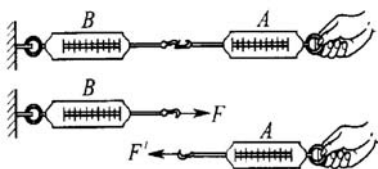


图 3-6 用弹簧秤研究作用力与反作用力

研究表明，两个物体间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在一条直线上。这就是牛顿第三运动定律。

想一想

如图 3-7 所示，甲乙两位同学拔河比赛中，乙输给了甲，乙无奈地说：“还是你的力气大，我的力气小！”不是作用力等于反作用力吗？请你解释为什么甲赢了比赛？

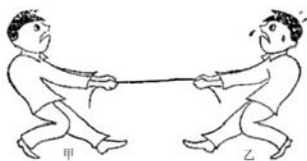


图 3-7 作用力与反作用力的关系

牛顿第三运动定律中的作用力与反作用力虽然大小相等方向相反，作用在一条直线上，但由于这两个力的作用对象不同，因此不是平衡力。

牛顿第三运动定律在生活和生产中应用很广泛。如人走路时脚对地面施加一个作用力，地面同时给脚一个反作用力，使人前进；开碰碰车时，你的车撞别人的车，别人的车也对你的车也施加了反作用力；轮船螺旋桨转动时，用力向后推水，水同时给螺旋桨一个反作用力，驱使轮船前进。

社会调研

把后轮驱动的电动玩具车后轮架空，接通电源，观察会有什么现象。分析为什么会出现这种现象。

阅读材料

惯性参照系

为了描述物体的运动，要选择一个物体做参考系，而参考系的选择有一定的任意性，例如：描述火车的车厢内物体的运动时，可以选择地面为参考系，也可以选择车厢为参考系。

但是，在应用牛顿运动定律时，可以任意选择参考系吗？考察下面的情况也许会有启发。

在火车车厢的光滑水平桌面上有一小球，当火车静止时，小球静止，能够保持它的静止状态不变，这符合牛顿第一运动定律。

如果火车突然向前开动或者火车加速，小球的状态会变吗？这时它受到水平方向的力吗？用加速运动的车厢作为参考系，牛顿运动定律还适用吗？

在有些参考系中，不受力的物体会保持静止或匀速直线运动的状态，这样的参照系叫做惯性参照系，简称惯性系，以加速度运动的火车为参考系，牛顿第一运动定律并不成立，这样的参考系叫做非惯性系。

想想练练

设想你处在遥远的太空，面前有一个与你相对静止的巨石，你轻轻地推动它一下。试描述这块巨石和你自己在推石时与推石后的运动情况。如果巨石静止放在地面上，结果会一样吗？为什么？

3.4 牛顿运动定律的应用

目标要求

加深对牛顿运动定律的理解；能够利用牛顿运动定律解决生产生活中的实际问题。

牛顿运动定律确定了力和运动的关系，把物体的受力与运动联系起来。如果已知物体的受力，就可以确定物体的运动；反之，如果已知物体的运动，也可以确定物体的受力。

例题 1 一个静止在水平地面上的物体，质量是 2kg ，在 6.6N 的水平拉力作用下沿水平地面向右运动。物体与水平面间的滑动摩擦力是 4.2N 。求物体 4s 末的速度和 4s 内发生的位移。

分析 这个问题是已知物体受的力，求它运动的速度和位移。

先考虑两个问题：

(1) 物体受到的合力沿什么方向？大小是多少？

(2) 这个题目要求计算物体的速度和位移，而我们目前只能解决匀变速直线运动的速度和位移。物体的运动是匀变速直线运动吗？

解决了这两个问题之后，就可以根据合力求出物体的加速度，然后根据匀变速直线运动的规律计算它的速度和位移。

解 先分析物体的受力情况，物体受到 4 个力的作用（图 3-8）：水平拉力 F_1 ，方向水平向右；滑动摩擦力 F_2 ，方向与物体相对于地面的运动方向相反，水平向左；重力 G ，方向竖直向下；地面的支持力 F_3 ，方向竖直向上。

物体在竖直方向上没有发生位移，没有加速度，重力 G 和支持力 F_3 大小相等，方向相反，彼此平衡。物体所受的合力等于水平方向的拉力 F_1 和滑动摩擦力 F_2 的合力，取水平向右的方向为正方向，则合力 $F = F_1 - F_2 = 6.6\text{N} - 4.2\text{N} = 2.4\text{N}$ 。表示合力的方向是水平向右的。

物体原来是静止的，初速度 $v_0 = 0$ ，在恒定的合力作用下产生恒定的加速度，所以物体做初速度为零的匀加速直线运动。

由牛顿第二运动定律 $F = ma$ 可以求加速度

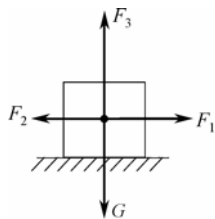


图 3-8 例题 1 图

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2.4}{2} \text{ m/s}^2 = 1.2 \text{ m/s}^2$$

求出了加速度 a ，由运动学公式就可求出 4s 末的速度 v_t 和 4s 内发生的位移

$$v_t = at = 1.2 \times 4 \text{ m/s} = 4.8 \text{ m/s}$$

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 4^2 \text{ m} = 9.6 \text{ m}$$

例题 2 一辆 2000kg 的小轿车在平直的路面上以 30m/s 的速度行驶，某时刻关闭发动机，同时制动，轿车开始匀减速运动，经过 20s 停止，求关闭发动机后轿车受到的阻力是多大？

分析 本题给出的条件集中在运动学方面，通过题意可以求解轿车的加速度，再由牛顿第二运动定律求解阻力。此处，题目涉及位移、速度、加速度，还有作用在物体上的外力，它们都是矢量，假设以物体的初速度方向为正方向，这样就可以用正负号来表示相关物理量的方向。

解 由题给条件： $v_0 = 30 \text{ m/s}$ ， $v_t = 0$ ， $t = 20 \text{ s}$ ，根据运动学公式得

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 30}{20} \text{ m/s}^2 = -1.5 \text{ m/s}^2$$

负号表示加速度方向与初速度方向（选定的正方向）相反。

轿车制动后的受力情况如图 3-9 所示，由牛顿第二运动定律可得

$$-f = ma = 2000 \times (-1.5) \text{ N}$$

解得

$$f = 3000 \text{ N}$$

即轿车受到的阻力为 3000N。

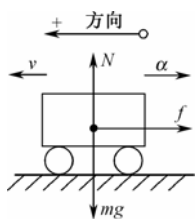


图 3-9 例题 2 图

想一想

一个人站在电梯内的体重计上测量自己的体重。当电梯静止时，观察体重计的读数。当电梯上升时，我们会发现：启动阶段，体重计读数比原先的读数要大；停止阶段，体重计读数比原先的读数要小。这是为什么呢？

想想练练

1. 以 $v=15\text{m/s}$ 的速度行驶的无轨电车，在关闭电动机后，经过 $t=10\text{s}$ 停下来。电车的质量是 $m=6.0 \times 10^3\text{kg}$ ，求电车所受的阻力。

2. 某城市的一条道路，规定车辆行驶速度不得超过 $v=30\text{km/h}$ 。在一次交通事故中，肇事车是一辆卡车，量得这辆卡车紧急刹车（车轮被抱死）时留下的刹车痕迹长为 $s=7.6\text{m}$ 。经过测试得知这种车胎与路面的动摩擦因数为 0.7，请判断该车是否超速。

3.5★ 圆周运动

目标要求

了解描述匀速圆周运动的基本物理量，知道它们之间的关系；理解向心力、向心加速度的概念及公式，能进行简单的计算。

物体沿着圆周运动是一种常见的运动。日常生活中，电风扇工作时叶片上的点、时钟分针和时针上的点、田径场弯道上赛跑的运动员等，都在做圆周运动。物体运动的路径是圆周的运动称为**圆周运动**。科学研究中，大到地球绕太阳的运动，小到电子绕原子核的运动，也常用圆周运动的规律来讨论。

描述圆周运动的物理量

线速度 做圆周运动的物体，在相同时间 Δt 内通过的弧长 Δl 越长，其运动越快；弧长越短，其运动越慢。我们引入线速度的概念来描述圆周运动的快慢。线速度用物体通过的弧长 Δl 与所用时间 Δt 的比值来定义，则

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

线速度的方向 运动员掷链球时，链球在运动员的牵引下做圆周运动，一旦运动员放手，链球即刻飞出。放手的时刻不同，链球飞出的方向也不一样，可见圆周运动的物体，在不同时刻的速度具有不同的方向。

怎么确定做圆周运动的物体在某一时刻的速度方向？如图 3-10 所示，我们发现质点在某一点的速度方向，是沿圆周在这一点切线方向。

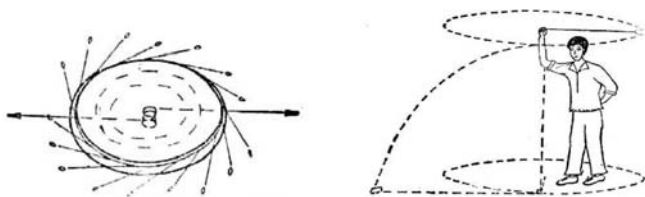


图 3-10 分析线速度方向

如果物体沿着圆周运动，并且线速度的大小处处相等，这种运动叫做**匀速圆周运动**。注意，匀速圆周运动的线速度方向是在时刻变化的，这里“匀速”是指速率不变，所以匀速圆周运动是一种变速运动。

角速度 如图 3-11 所示，做匀速圆周运动的物体，在相同时间内通过的弧长都相等，其实也是指在相同的时间内半径 r 扫过的圆心角都相等。因此，物体做圆周运动的快慢还可以用它与圆心连线扫过的角度的快慢来描述。在图 3-11 中，物体在 Δt 时间内由点 A 运动到点 B ，半径 OA 在这段时间内转过的角为 $\Delta\theta$ ，它与所用时间 Δt 的比值，描述了物体绕圆心转动的快慢，这个比值叫做**角速度**，用符号 ω 表示

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

角速度的单位是由角的单位和时间的单位决定的，在国际单位制中，时间的单位是秒，而角度的单位是弧度，用符号 rad 表示。

所以角速度的单位在国际单位制中为弧度每秒，符号是 rad/s 。

由于匀速圆周运动是线速度大小不变的运动，物体单位时

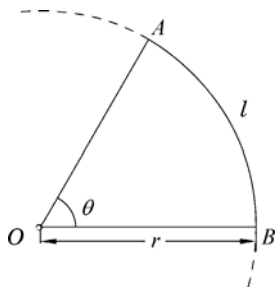


图 3-11 圆心角

间通过的弧长相等，所以物体在单位时间转过的角度也相等。因此匀速圆周运动是角速度不变的圆周运动。

周期 做圆周运动的物体，转过一周所用的时间叫**周期**，用 T 来表示。周期也是常用的物理量，它的单位是秒（s）。

频率 物体转动的快慢还可以用频率来表示。单位时间内物体转动的圈数叫**频率**，用符号 f 表示，单位为**转每秒**（r/s）。

由定义可知
$$f = \frac{1}{T}$$

在工程技术上，常用转速来描述物体转动运动的快慢，转速是指在一分钟内物体所转过的圈数，常用符号 n 表示，单位为**转每分**（r/min）。

转速与频率的关系为
$$n = 60f$$

线速度与角速度、周期的关系

因物体做圆周运动一周所用时间为 T ，而对应的圆心角为 2π ，因此有

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

因 $l = r\Delta\theta$ ，由定义可知
$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{r\Delta\theta}{\Delta t} = r \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = r\omega$$

所以
$$v = r\omega$$

上式表明，在圆周运动中，线速度的大小等于角速度大小与半径的乘积。

向心加速度 向心力

由图 3-10 所示的实例可知，做圆周运动的物体所受的合力指向圆心，根据牛顿第二运动定律可以知道，其加速度也是指向圆心的。

向心加速度 做匀速圆周运动的物体的加速度指向圆心，这个加速度叫做**向心加速度**。由 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可以导出向心加速度大小的表达式

$$a = \frac{v^2}{r}$$

把 $v = r\omega$ 代入上式，能够得到用角速度表示向心加速度大小的表达式

$$a = r\omega^2$$

向心力 做匀速圆周运动的物体受到的指向圆心的合力叫做**向心力**。

把向心加速度的表达式代入牛顿第二运动定律，可得向心力的表达式

$$F_n = m \frac{v^2}{r}$$

或者
$$F_n = mr\omega^2$$

例题 某车间用行车吊质量 $m = 2.5 \times 10^3 \text{ kg}$ 的工件，钢丝绳的长度为 $L = 3.0 \text{ m}$ ，当行车以 $v = 3.0 \text{ m/s}$ 的速度行驶时突然刹车，问工件将怎样运动？刹车时钢丝绳的拉力是多大？

分析 当行车突然刹车时，工件由于惯性将仍然向前运动，但因钢丝绳不能伸长，所以工件只能以行车为圆心作圆弧运动。工件速度为行车原速度 $v = 3.0 \text{ m/s}$ ，钢丝绳的长度即圆周半径 $r = L = 3.0 \text{ m}$ 。工件受到钢丝绳的拉力 T 和重力 G 的作用，如图 3-12 所示。其合

力用来提供工件作圆周运动的向心力。

解 由分析知 $F_{\text{合}} = T - G = m \frac{v^2}{r}$

$$T = G + m \frac{v^2}{r} = (2.5 \times 10^3 \times 9.8 + 2.5 \times 10^3 \times \frac{3.0^2}{3.0}) \text{N}$$

$$= 3.58 \times 10^3 \text{N}$$

即刹车时钢绳的拉力是 $3.58 \times 10^3 \text{N}$ 。

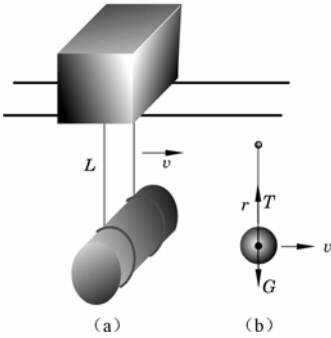


图 3-12 例题图

离心现象

离心现象 如图 3-13 所示，做匀速圆周运动的物体，在所受合力突然消失或者不足以提供圆周运动所需的向心力的情况下，物体逐渐远离圆心的现象，叫做**离心现象**。离心现象有很多应用。例如，洗衣机脱水时利用离心现象把附着在衣物上的水分甩掉，纺织厂也用这样的方法来干燥棉纱、毛线等纺织品。

离心现象有时也会带来危害。在水平公路上行驶的汽车，转弯时所需的向心力是由车轮与路面间的摩擦力提供的，如果转弯时的速度过大，所需要的向心力也很大，如果大到地面的摩擦力不足以提供其所需要的向心力时，汽车将因离心现象而造成事故。因此，车辆在弯道行驶时，不要超过规定的速度。在摩托车比赛中运动员往往通过倾斜车身来增大向心力，如图 3-14 所示。

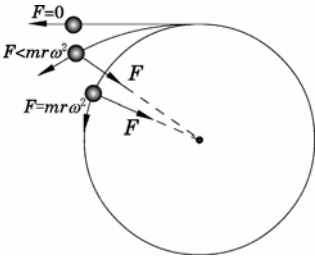


图 3-13 离心现象



图 3-14 行驶在弯道上的摩托车

社会调研

通过观察公路拐弯处路面的倾斜情况及自行车拐弯时的受力情况，分析向心力的来源。

阅读材料

离心式洗衣机

过去，洗衣机一共有三种类型，即亚洲国家使用最多的波轮洗衣机；欧洲人喜欢的滚筒洗衣机；美洲国家采用的搅拌式洗衣机。

1999 年，洗衣机行业出现了第四种洗衣机，即从波轮和滚筒两种方式中衍生出来的新一代离心式洗衣机。这种洗衣机基本上还是波轮式洗衣机的框架，但其洗衣机内桶是

旋转的，与滚筒洗衣机相似。

离心式洗衣机把波轮的水流转动与滚筒的内桶转动结合到一起，内桶高速旋转时，衣物因离心现象贴在内桶壁上，内桶中的水形成高速水流，穿透衣物流出，将衣物中的污垢带走。这种方式最大的优点是大大减少了衣物的磨损，由于衣物贴在桶壁上不互相缠绕纠结，一是减少磨损，二是降低变形。国家标准洗衣机的磨损率是小于 1.5‰，磨损率较低的滚筒洗衣机达到了 1‰，而离心力洗衣机则降到了 0.04‰。另外，离心力洗衣机可以一机两用，对于较脏或非高档羊毛羊绒服装，还可以采用波轮式洗涤方式。

想想练练

1. 如图 3-15 所示，A、B 两点分别位于大、小轮的边缘上，C 点位于大轮半径的中点，大轮的半径是小轮半径的 2 倍，它们之间靠摩擦传动，接触面不打滑。请在该装置的 A、B、C 三个点中选择有关的两个点，具体说明公式 $v=r\omega$ 的以下三种变量关系：

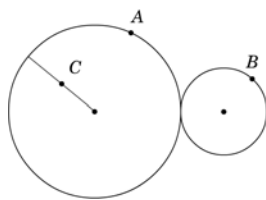


图 3-15 v 、 r 、 ω 关系

- (1) v 相等， ω 跟 r 成反比；
- (2) ω 相等， v 跟 r 成正比；
- (3) r 相等， v 跟 ω 成正比。

2. 图 3-16 是自行车传动机构的示意图。假设脚踏板每 2s 转 1 圈，要知道在这种情况下自行车前进的速度有多大，还需要测量哪些量？请在图中用字母标注出来，并用这些量推导出自行车前进速度的表达式。

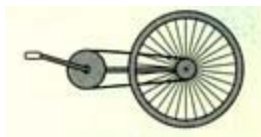


图 3-16 自行车传动机构

利用你家的自行车实际测量这些数据，计算前进速度的大小，然后实测自行车的速度，对比一下，差别有多大？

3. 地球质量为 $m=6.0\times 10^{24}\text{kg}$ ，地球与太阳的距离为 $r=1.5\times 10^{11}\text{m}$ 。地球绕太阳的运动可以看做匀速圆周运动。太阳对地球的引力是多少？

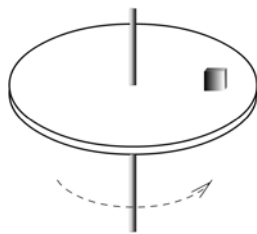


图 3-17 第 4 题图

4. 一个圆盘在水平面内匀速转动，角速度是 $\omega=4\text{rad/s}$ 。盘面上距圆盘中心 $r=0.10\text{m}$ 的位置有一个质量为 $m=0.10\text{kg}$ 的小物体能够随圆盘一起运动，如图 3-17 所示。

(1) 求小物体做匀速圆周运动时，所受向心力的大小。

(2) 关于小物体的向心力，甲、乙两人有不同的意见：甲认为该向心力等于圆盘对小物体的静摩擦力，指向圆心；乙认为小物体有向前运动的趋势，静摩擦力方向和相对运动趋势的方向相反，即向后，而不是和运动的方向垂直，因此向心力不可能是静摩擦力。你的意见是什么？说明理由。

3.6** 航天技术简介

目标要求

了解万有引力定律和简单天体运动知识；初步认识空间开发的意义和前景；初步认识火箭、航天器和卫星的应用；初步认识地面测控技术。

远古时期，当人们仰望星空，那壮丽璀璨的神秘现象便吸引了人们的注意。到了 17 世纪，牛顿以他敏锐的洞察力把天空中的现象与地面上的现象统一起来，成功地解释了天体运动的规律。时至今日，数千颗的人造卫星正在遵循万有引力定律在它们确定的轨道上运动着。牛顿万有引力定律取得了如此辉煌的成就，以至于阿波罗号航天飞船从月球返回地面的途中，当控制中心询问飞船“是谁在驾驶”的时候，指令长这样回答：“我想现在是牛顿在驾驶。”

天体运动 万有引力定律

天体运动 几百年前，人们对于天体分布的认识，存在着“地心说”和“日心说”两种对立的看法。“地心说”认为地球是宇宙的中心，太阳、月亮以及其他行星都绕地球运动；“日心说”则认为太阳是静止不动的，地球和其他行星都绕太阳运动。经过长期论争，“日心说”战胜了“地心说”，最终被人类所接受。

无论“地心说”还是“日心说”，先哲们都把天体的运动看得很神圣，认为天体的运动必然是最完美、最和谐的匀速圆周运动。德国天文学家开普勒在前人长期观察、记录的基础上，经过反复推算与研究，得出了**行星运动遵循的三大定律**。

- (1) 所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆形的，太阳处在椭圆的一个焦点上。
- (2) 对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积。
- (3) 所有行星的轨道的半长轴的三次方与它的公转周期的二次方的比值都相等。

实际上，行星的轨道与圆十分接近，因此我们可以近似地认为：

- (1) 行星绕太阳运动的轨道十分接近圆，太阳处在圆心。
- (2) 对某一行星来说，它绕太阳做圆周运动的角速度（或线速度）不变，即行星做匀速圆周运动。
- (3) 所有行星轨道半径的三次方与它的公转周期的二次方的比值都相等。

开普勒关于行星运动的描述为万有引力定律的发现奠定了基础。

万有引力定律 开普勒定律发现之后，人们开始更深入地思考：是什么原因使行星绕太阳运动？

牛顿在前人对惯性研究的基础上，认为使行星沿圆或椭圆运动，需要指向圆心或椭圆焦点的力，这个力应该就是太阳对它的引力。于是，牛顿利用他的运动定律把行星的向心加速度与太阳对它的引力联系起来了。

不仅如此，牛顿还认为，这种引力存在于所有物体之间。太阳对行星的引力我们很容易想到，太阳对行星的引力 F 与行星到太阳的距离 r 、及星体的质量有关，这种关系最终

被确认为：自然界中任何两个物体都相互吸引，引力的大小与物体的质量的乘积成正比，与它们之间距离的二次方成反比，即

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

式中，质量的单位用 kg ，距离的单位用 m ，力的单位用 N 。 G 是比例系数，叫做引力常量，适用于任何两个物体。

引力常量 牛顿得出了万有引力与物体质量及它们之间距离的关系，但却无法算出两个天体之间万有引力的大小，因为他不知道引力常量 G 的值。100 多年以后，英国物理学家卡文迪许（1731~1810）在实验室里通过几个铅球之间万有引力的测量，比较准确地得出了 G 的数值。通常取 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

引力常量是自然界中少数几个最重要的物理常量之一。

“科学真是迷人” 地球的质量是多少？这不可能用天平称量，但是可以通过万有引力定律来“称量”。若不考虑地球自转的影响，地面上质量为 m 的物体所受的重力 mg 等于地球对物体的引力，即

$$mg = G \frac{mM}{R^2}$$

式中， M 是地球的质量； R 是地球的半径，也就是物体到地心的距离，由此推导出

$$M = \frac{gR^2}{G}$$

地面的重力加速度 g 和地球半径 R 在卡文迪许之前就已知道，一旦测得引力常量 G ，就可以算出地球的质量。卡文迪许把他自己的实验说成是“称量地球的重量”，是不无道理的。

在实验室里测量几个铅球之间的作用力，就可以称量地球，这不能不说是一个科学奇迹。难怪一位外行人——著名文学家马克·吐温满怀激情地说：“科学真是迷人。根据零星的事实，增添一点猜想，竟能赢得那么多的收获！”

宇宙速度

从高山上水平抛出物体，速度一次比一次大，落地点也就一次比一次远。如果速度足够大，物体就不再落回地面，它将绕地球运动，成为人造地球卫星。现在我们就来计算这个速度。

设地球的质量为 M ，绕地球做匀速圆周运动的飞行器的质量为 m ，飞行器的速度为 v ，它到地心的距离为 r 。飞行器运动所需的向心力是由万有引力提供的，所以

$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

由此解出

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

近地卫星在 $100 \sim 200 \text{km}$ 的高度飞行，与地球半径 6400km 相比，完全可以说是在“地面附近”飞行，可以用地球半径 R 代表卫星到地心的距离 r 。把数据代入上式后，可以算出

$$v = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{6.40 \times 10^6}} \text{ m/s} \approx 7.9 \text{ km/s}$$

这就是物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度，叫做**第一宇宙速度**。

在地面附近发射飞行器，如果发射速度大于 7.9km/s，而小于 11.2km/s，它绕地球运行的轨迹就不是圆，而是椭圆。当物体的速度等于或大于 11.2km/s 时，它就会克服地球的引力，永远离开地球。我们把 11.2km/s 叫做**第二宇宙速度**。

达到第二宇宙速度的物体还受到太阳的引力。在地面附近发射一个物体，要使物体挣脱太阳引力的束缚，飞到太阳系外，必须使它的速度等于或大于 16.7km/s，这个速度叫做**第三宇宙速度**。

梦想成真

探索宇宙的奥秘，奔向广阔而遥远的太空，是人类的梦想。真正为人类迈向太空提供科学思想的，是 19 世纪中叶的俄罗斯学者齐奥尔科夫斯基。他指出，利用喷气推进的多级火箭，是实现太空飞行最有效的工具。

火箭 火箭是以热气流高速向后喷出，利用产生的反作用力向前运动的喷气推进装置。它自身携带燃烧剂与氧化剂，不依赖空气中的氧助燃，既可在大气中，又可在外层空间飞行。火箭在飞行过程中随着火箭推进剂的消耗，其质量不断减小，是变质量飞行体。现代火箭可用做快速远距离运送工具，如作为探空、发射人造卫星、载人飞船、空间站的运载工具，以及其他飞行器的助推器等。

航天器 在地球大气层以外的宇宙空间、按照天体力学的规律运行的各类飞行器，又称空间飞行器。航天器分为人造地球卫星、空间探测器和载人航天器。

航天器在地球大气层以外运行，摆脱了大气层阻碍，可以接收到来自宇宙天体的全部电磁辐射信息，开辟了全波段天文观测；航天器从近地空间飞行到行星际空间飞行，实现了对空间环境的直接探测，以及对月球和太阳系大行星的逼近观测和直接取样观测；环绕地球运行的航天器从几百公里到数万公里的距离观测地球，迅速而大量地收集有关地球大气、海洋和陆地的各种各样的电磁辐射信息，直接服务于气象观测、军事侦察和资源考察等方面；人造地球卫星作为空间无线电中继站，实现了全球卫星通信和广播，而作为空间基准点，可以进行全球卫星导航和大地测量；利用空间高真空、强辐射和失重等特殊环境，可以在航天器上进行各种重要的科学实验研究。

1992 年，中国载人航天工程正式启动。2003 年 10 月 15 日 9 时，我国神舟五号宇宙飞船在酒泉卫星发射中心成功发射，把中国第一位航天员杨利伟送入太空。这次成功的发射实现了中华民族千年的飞天梦想，标志着中国成为世界上第三个能够独立开展载人航天活动的国家，为进一步的空间科学研究奠定了坚实的基础。

2008 年 9 月 25 日晚 21 时 10 分 04 秒，“神舟七号”载人（翟志刚、刘伯明、景海鹏）航天在酒泉卫星发射中心发射升空，9 月 27 日下午 16 时 30 分航天员翟志刚首次进行出舱活动，成为中国太空行走第一人。实现了我国空间技术发展的重大跨越。这一举世瞩目的伟大成就向世界宣告，中国已成为世界上第三个独立掌握空间出舱关键技术的国家。图 3-18 为执行航天飞行任务的航天员。



杨利伟

图 3-18 中国航天英雄杨利伟

社会调研

上网查阅、观看有关人造地球卫星、航天飞机、空间站的文字和影视资料，了解我国航天事业的发展历史和前景。

科学漫步

黑 洞

第一宇宙速度又叫环绕速度，第二宇宙速度又叫逃逸速度，理论分析表明，逃逸速度是环绕速度的 $\sqrt{2}$ 倍，即 $v' = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 。这个关系对于其他天体也是正确的。由此可知，天体的质量 M 越大，半径越小，逃逸速度也就越大。也就是说，其表面的物体就越不容易脱离它的束缚。

有些恒星，在它一生的最后阶段，强大的引力把其中的物质紧紧地压在一起，密度极大，每立方厘米的质量可达数吨，它们的质量非常大，半径又非常小，其逃逸速度非常大。于是，我们自然要想，会不会有这样的天体，它的质量更大、半径更小，逃逸速度更大，以 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 的速度传播的光都不能逃逸？如果宇宙中真的存在这种天体，即使它确实在发光，光也不能进入太空，我们也根本看不到它。这种天体称为黑洞。

1799年，法国科学家拉普拉斯在对牛顿引力理论做过透彻研究后指出，对于一个质量为 M 的球状物体，当其半径 R 不大于 $\frac{2GM}{c^2}$ 时，即是一个黑洞。倘若太阳能收缩成黑洞，其半径应小于3km，而目前太阳的半径是这一数值的25万倍。

拉普拉斯并非是指出黑洞的第一人，英国学者米切尔于1784年也提出过相似的见解。遗憾的是，他们的论述被尘封了一个多世纪，因为那时人们只知道引力对普通物质的作用，还不知道引力是否也能吸引光。此外，他们的推测都建立在牛顿引力理论的基础上，后来发现，当涉及强引力时，牛顿的引力公式并不可靠。1916年，爱因斯坦创立的广义相对论一举解决了这个问题，从此，关于黑洞的研究也就有了新的理论依据，黑洞的性质也就更为引人入胜。

几十年来，科学家们围绕“宇宙动物园中这种怪兽”的存在一直在猜测。困难在于，看不见它，我们如何判断它的存在？1970年，通过间接途径，科学家们发现了第一个很可能是黑洞的目标，这是个质量至少为太阳 10 倍的黑暗天体。近年又在大麦哲伦星云中发现了十几个可能是黑洞的物体。对此，一位学者感叹道，“曾几何时，黑洞不过是噩梦，现在，它终于出现在这个世界中了”。为寻找这种最黑暗的奇异天体而进行的探索还在继续着。

“为什么要研究黑洞呢？”对此，当代最著名的宇宙学家霍金这样回答自己：“为什么人们要攀登珠穆朗玛峰？因为它就在那里。”

本章小结

本章主要讲述了运动和力的关系——力是改变物体运动状态的原因。

1. 牛顿第一定律（惯性定律），惯性及其大小的量度。

2. 牛顿第二定律 $F = ma$ 。

3. 牛顿第三定律、作用力与反作用力。

4. 万有引力定律 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，引力常量 G 。

5. 描述圆周运动快慢的物理量——线速度、角速度、周期与频率。在匀速圆周运动中，它们之间的关系为：

$$v = r\omega = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

6. 圆周运动的向心加速度 $a = \frac{v^2}{r}$ 和向心力 $F = m \frac{v^2}{r}$ 。

7. 天体运动、宇宙速度与航天器。

第4章 机械能守恒定律



长江三峡电站

任何人类的活动都离不开能量。如现代生活离不开电厂提供的电能；现在交通离不开燃料释放的化学能；人类生活需要摄取食物中的化学能；植物的生长依赖太阳能……

在初中我们学习过能量的初步知识，知道自然界存在各种不同形式的能量——机械能（动能和势能）、内能、电能、化学能、核能等，并且发现不同形式的能量可以相互转化，在转化过程中遵从能量守恒这个基本定律。

本章要研究的是动能、势能及其相互转化的规律。

4.1 功 功率

目标要求

理解功、功率的概念，知道功率与速度的关系；能用功和功率的公式进行简单的计算。

功

做功 在初中同学们已经初步认识到，一个物体受到力的作用，如果在力的方向上发生一段位移，这个力就对物体做了功。人推车前进，车在人的推力作用下发生了一段位移，推力对车做了功；厂房里的行车吊着工件上升，行车吊绳的拉力对工件做了功；列车在机车的牵引力作用下发生了一段位移，牵引力对列车做了功，可见，力和物体在力的方向上发生的位移，是做功的两个必要条件。

想一想

在水平路面上，小张提着一桶水走了 2m。小王举起的杠铃在头顶保持静止 3s，如图 4-1 所示。小马却说，他们都没有做功。你认为呢？

功的计算 在物理学中，如果力的方向与物体运动的方向一致，如图 4-2 所示，那么力对物体做了功，所做功的大小是力与位移的大小的乘积。用 F 表示力的大小，用 s 表示位移的大小，用 W 表示力 F 所做的功，则有

$$W=Fs$$

功是标量。在国际单位制中，功的单位是**焦耳**，简称**焦**，符号是 J， $1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$ 。

在很多情况下，物体的受力方向与运动方向并不一致，如图 4-3 所示，这时怎样计算力对物体做的功呢？

我们可以把力 F 按正交分解成分力 F_1 和 F_2 ，由于 F_2 对物体不做功，则两分力做功可推导出

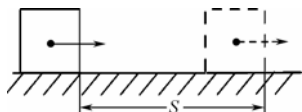


图 4-2 力的方向与运动方向一致

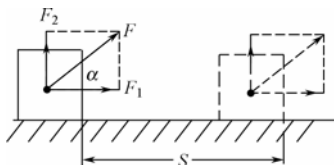


图 4-3 物体在力作用下移动一段位移

$$W=W_1+W_2=F_1s+0=Fs\cdot\cos\alpha$$

$$W=Fs\cdot\cos\alpha$$

这就说明，力对物体做的功等于力的大小、位移的大小、力和位移的夹角的余弦三者



图 4-1 研究做功

的乘积。

做一做

请你写出做功表达式的推导过程并思考，如果不分解力，而是分解位移，你能推导出功的计算公式吗？

正功和负功 现在我们讨论一下力做功时可能出现的各种情形。

(1) 当 $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ 时， $\cos\alpha > 0$ ， $W > 0$ ，力对物体做正功，如图 4-4 所示。例如，马拉着车沿水平面运动，马的拉力对车做正功。此时力对物体的运动起推动作用。

(2) 当 $\alpha = 90^\circ$ 时， $\cos\alpha = 0$ ， $W = 0$ ，这表明力 F 的方向与位移 s 的方向垂直时，力 F 不做功。例如，物体沿固定斜面下滑时，支持力对物体不做功。此时力对物体的运动不起作用。

(3) 当 $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ ， $\cos\alpha < 0$ ， $W < 0$ ，力对物体做负功，如图 4-5 所示。例如，物体沿斜面向上运动，这时重力方向与位移方向成钝角，重力对物体做负功。此时力对物体的运动起阻碍作用。

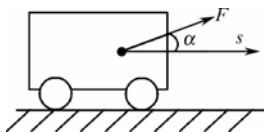


图 4-4 F 与 s 的夹角小于 90°

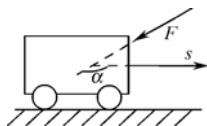


图 4-5 F 与 s 的夹角大于 90°

某力对物体做负功，往往说成“物体克服某力做功”。这两种说法的意义是相同的。

想一想

人推着一辆自行车在水平路面上前进，自行车受到哪几个力的作用？其中哪些力做功？哪些力不做功？哪些力做正功？哪些力做负功？

总功的计算 当物体在几个力的共同作用下发生一段位移 s 时，这几个力对物体所做的总功，我们有两种计算方法。一种方法是先求出这几个力的合力 $F_{\text{合}}$ ，再根据 $W_{\text{合}} = F_{\text{合}} s \cos\alpha$ 计算总功。另一种方法是先分别求出各分力对物体做的功，再求和，则可得总功。

例题 1 如图 4-6 所示，一个质量为 $m=20\text{kg}$ 的物体，在与水平方向成 $\alpha=37^\circ$ 的拉力 $F=100\text{N}$ 的作用下，沿着水平地面移动 $s=10\text{m}$ 。已知物体与地面间的滑动摩擦力大小为 30N ，取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$ ，求：

- (1) 拉力对物体做的功；
- (2) 物体克服摩擦力做的功。

解 物体的受力分析如图 4-7 所示。

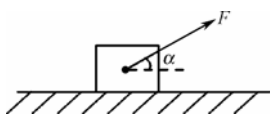


图 4-6 例题 1 图

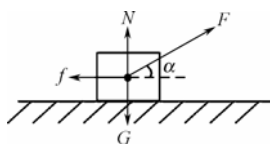


图 4-7 例题 1 图受力分析

(1) 拉力 F 对物体做的功

$$W_F = F s \cos \alpha = 100 \times 10 \times \cos 37^\circ \text{ J} = 8 \times 10^2 \text{ J}$$

(2) 摩擦力 f 做的功

$$W_f = f s \cos 180^\circ = 30 \times 10 \times (-1) \text{ J} = -3 \times 10^2 \text{ J}$$

即, 拉力对物体做了 $8 \times 10^2 \text{ J}$ 的功, 物体克服摩擦力做功 $W_{\text{克}} = 3 \times 10^2 \text{ J}$ 。

功率

不同物体做相同的功, 需要的时间往往不同, 也就是说, 做功的快慢程度不相同。一台起重机在 30s 内把 1t 货物提到指定高度, 而另一台起重机做同样的功却用了 1min, 可见前一台起重机做功做得快。

物理学中做功的快慢用功率来表示。功 W 与完成这些功所用时间 t 的比值叫做功率。功率用 P 来表示, 则有

$$P = \frac{W}{t}$$

在国际单位制中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦, 符号是 W, $1\text{W} = 1\text{ J/s}$ 。瓦这个单位比较小, 技术上常用千瓦 (kW) 做功率的单位, $1\text{kW} = 1000\text{W}$ 。

想一想

当汽车油门大小不变, 即功率恒定时, 如果汽车行驶在平整光滑的路面上, 车速较快; 如果汽车行驶在粗糙不平的路面上, 车速较慢。这是否意味着汽车的功率、牵引力、速度之间存在着某种关系呢?

功率与速度的关系 如图 4-8 所示, 汽车在牵引力 F 的作用下作匀速运动。

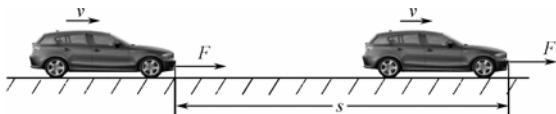


图 4-8 研究功率与速度的关系

将功的计算公式 $W = Fs$ 、功率的计算公式 $P = \frac{W}{t}$, 及 $v = s/t$ 相结合, 可得

$$P = Fv$$

这就是说, 一个力对物体做功的功率, 等于这个力与受力物体运动速度的乘积。

公式 $P = Fv$ 是在物体做匀速直线运动的特例下推导出来的。但是, 对于变速运动仍然成立。如果公式中的 v 是平均速度, P 即为平均功率; 如果公式中的 v 是瞬时速度, P 即为瞬时功率。

上式表明, 对于汽车、火车等交通工具和各种起重机械, 当发动机的功率 P 一定时, 牵引力 F 与速度 v 成反比, 要增大牵引力, 就要减小速度; 要增大速度, 就要减小牵引力。

在工程技术中, 通过减小速度来增大牵引力或通过减小牵引力来提高速度, 效果都是有限的。要从根本上提高速度和增大牵引力, 就必须提高发动机的功率。这正是高速火车、

汽车和大型轮船具有大功率发动机的原因。

额定功率 电动机、内燃机等动力机械都标有额定功率，它是机车在正常条件下可以长时间工作的功率。实际输出功率往往小于这个数值。例如，某汽车内燃机的额定功率是 97kW，但在平直公路上中速行驶时，发动机实际输出功率只有 20kW 左右。在特殊情况下，如越过障碍时，司机通过加大油门，可以使实际输出功率大于额定功率，但这对发动机有害，只能工作很短时间，而且要尽量避免。

例题 2 一艘轮船发动机的额定输出功率 $P = 1.7 \times 10^5 \text{ kW}$ ，以最大速度航行时所受的阻力是 $f = 1.2 \times 10^7 \text{ N}$ ，求轮船的最大行驶速度。

分析 轮船运动时在水平方向受到牵引力 F 和阻力 f ，其中阻力 f 随着速度的增加而增大。设发动机的输出功率恒定为 P ，由功率、速度关系式 $P = Fv$ 可知：开始阶段，轮船行驶速度较小，牵引力较大，同时阻力较小，因此合力较大，加速度较大；随着速度的增加，牵引力逐渐减小，阻力逐渐增大，合力逐渐减小，加速度逐渐减小。当牵引力减小到与阻力相等时，加速度变为零，速度达到最大。此后，轮船即以最大速度匀速行驶。

解 当轮船以额定功率匀速行驶时，速度为最大。

$$\text{由} \quad F - f = 0$$

$$P = Fv$$

$$\text{解得} \quad v = \frac{P}{f}$$

将 $P = 1.7 \times 10^5 \text{ kW}$ 、 $f = 1.2 \times 10^7 \text{ N}$ 代入得

$$v \approx 14 \text{ m/s}$$

即轮船最大行驶速度为 14m/s。

社会调研

你家里可能有洗衣机、吹风机，还可能有吸尘器、电动剃须刀，拖拉机、汽车上面有发动机，工厂里面有电动机……

机械的功率与它们的体积有没有关系？与它们的耗电量（耗油量）有没有关系？

如果能够见到的机械较少，你还有别的方法。可以收集各种说明书，也可以从报纸的广告上了解它们的功率，并能了解到功率的大小与它们的效能之间的某种联系。

有条件的话，你可以上网浏览查看更多的机械的功率。

想想练练

1. 如图 4-9 表示物体在力 F 作用下在水平面上发生一段位移 s 。试分别计算在这三种情况下力 F 对物体所做的功，设在这三种情况下力、位移的大小都相同 $F=10\text{N}$ ， $s=2\text{m}$ ，角 α 的大小如图中所示。

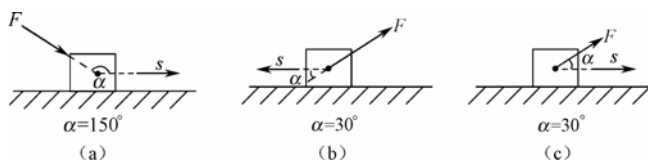


图 4-9 第 1 题图

2. 一台起重机匀加速地将质量 $m=1.0\times 10^3\text{kg}$ 的货物竖直吊起, 在 2s 末货物的速度 $v=4.0\text{m/s}$, 取 $g=10\text{m/s}^2$. 求:

(1) 起重机在这 2s 时间内的平均输出功率。

(2) 起重机在 2s 末的瞬时输出功率。

4.2 动能 动能定理

目标要求

了解动能和动能定理, 能用动能定理解释生活和生产中的物理现象。

动能

设一个物体的质量为 m , 初速度为 v_1 , 在与运动方向相同的恒力 F 的作用下发生一段位移 s , 速度增加到 v_2 , 如图 4-10 所示。

在这一过程中, 力 F 做的功 $W=Fs$, 其中 $F=ma$ 。

由 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 和 $v_t=v_0+at$, 可求得位移与速度的关系。

可解得

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

显然, $\frac{1}{2}mv^2$ 反映了物体由于运动具有一定的能。物理学中, 把 $\frac{1}{2}mv^2$ 叫做物体的动能, 用符号 E_k 表示, 即

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

这就是说, 物体的动能等于物体质量与物体速度二次方的乘积的一半。

动能与功一样, 也是一个标量。在国际单位制中, 动能的单位是 J。

例题 1 我国在 1970 年发射的第一颗人造卫星, 质量为 $m=173\text{kg}$, 运动速度为 $v=7.2\text{km/s}$, 它的动能是多大?

解 卫星动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 173 \times (7.2 \times 10^3)^2 \text{J} \approx 4.48 \times 10^9 \text{J}$$

即卫星的动能是 $4.48 \times 10^9 \text{J}$ 。

动能定理

在上面的结论中, $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 可以写成

$$W = E_{k2} - E_{k1}$$

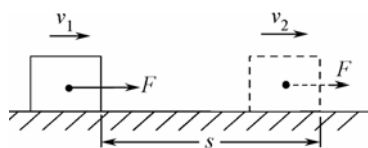


图 4-10 研究动能与速度的关系

其中, E_{k2} 表示物体的末动能 $\frac{1}{2}mv_2^2$, E_{k1} 表示物体的初动能 $\frac{1}{2}mv_1^2$ 。

如果物体受到几个力的共同作用, 则公式中的 W 表示这几个力的合力所做的功(几个力做功的代数和)。

这表明, 力对物体做的功等于物体动能的变化, 这个结论叫做动能定理。

动能定理是在物体受到恒力且作直线运动的条件下推导出来的。可以证明, 当力是变力时, 动能定理仍然成立。

功和能的关系 通过动能定理的研究, 我们初步认识到: 力对物体做多少功, 物体动能就改变多少。可见, 通过力对物体做功的多少, 可以量度出动能变化的多少。功是能量变化的量度。因此, 我们可以根据能量变化的多少来计算功, 也可以根据做功的多少来计算能量的变化。

动能定理的应用

应用动能定理求解力学问题往往比较简单, 这是因为它不涉及物体运动过程中的加速度和时间。应用动能定理时, 必须分析清楚物体所经历的过程及受力情况。

例题 2 一架喷气式飞机, 质量 $m=5.0\times 10^3\text{kg}$, 起飞过程中从静止开始滑跑的路程为 $s=5.3\times 10^2\text{m}$ 时, 达到起飞速度 $v=60\text{ m/s}$, 在此过程中飞机受到的平均阻力是飞机重力的 $k=0.02$ 倍, 求飞机受到的牵引力。

分析 飞机在水平方向受到的外力是牵引力 F 和阻力 f , 竖直方向受力是平衡的。

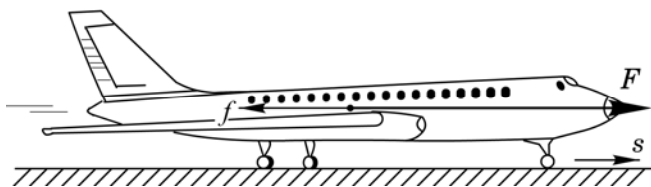


图 4-11 飞机起飞时的受力

飞机原来是静止的, 初动能 $E_{k1}=0$, 飞机在水平方向受到的外力是牵引力 F 和阻力 $f=kmg$, 如图 4-11 所示。在外力的作用下, 飞机在跑道上滑跑一段位移 s , 外力对飞机做功, 飞机的动能增加, 最后达到起飞速度 v , 末动能 $E_{k2}=\frac{1}{2}mv^2$ 。外力所做的总功 $W=Fs-fs=Fs-kmg s$, 由动能定理可以求出牵引力。

解 由动能定理可得

$$Fs - kmgs = \frac{1}{2}mv^2$$

由此得

$$F = \frac{mv^2}{2s} + kmg$$

代入数值得

$$F = 1.8 \times 10^4 \text{N}$$

做一做

本题若用牛顿第二定律和匀变速运动公式来求解，解得的结果相同吗？两种解法哪种更为简便？为什么？

例题 3 质量 $m=500\text{g}$ 的足球被踢起后，观察它在空中的飞行情况，估计上升的最大高度是 $h=10\text{m}$ ，在最高点的速度为 $v=20\text{ m/s}$ ，如图 4-12 所示。试估算运动员踢球时对足球做的功。（取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$ ）

分析 本题要求功，首先想到的是功的计算公式 $W=Fscos\alpha$ ，但这里人对足球的作用力 F 和位移 s 都不知道，故无法直接用这一公式求解。

我们可以尝试根据做功与动能变化的关系来计算。选足球从静止起直至运动到最高点为研究过程，这一过程中共有两个力做功，一个是人的脚对足球做功，另一个是重力做功，再由动能定理建立方程即可解得。

解 设人对足球做功为 W_1 ，足球从静止至运动到最高点的过程中，重力做功为 W_2 ，由动能定理得

$$W_1 + W_2 = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

而 $W_2 = -mgh$ ，代入上式可得

$$W_1 = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

代入已知数据，可解得

$$W_1 = 150\text{J}$$

由以上两例可以看出，利用动能定理来解力学问题，要明确物体的初动能和末动能，要分析物体的受力情况，列出各个力所做的功，然后用动能定理求解。动能定理不涉及物体运动过程中的加速度和时间，因此用它来处理问题有时比较方便。

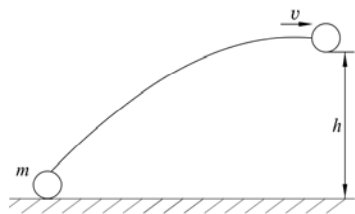


图 4-12 例题 3 图

社会调研

通过查找资料，收集汽车刹车距离与车速关系的数据，尝试用动能定理进行解释。

阅读材料

能量概念是怎样建立的

能量是物理学中最抽象的概念，也是牛顿没有留给我们的少数力学概念之一，但是能量的思想，在伽利略的理想实验中已经显现出来了。

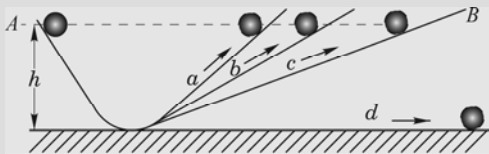


图 4-13 伽利略实验

在这个实验中，小球从一个斜面 A 滚下，就会继续滚上另一个斜面 B ，伽利略推断，如果斜面光滑，不论斜面的倾角是大一些还是小一些，小球将会滚到相同的高度。这个结论启发人们：小球好像总是“记得”自己起始高度。人们通过长期的探索认识到，小球在运动过程中，某个量是守恒的，这个量正是小球所“记得”的。在物理学中，这个量叫做能量或能。前面学过的动能是能量的一种形式，还有其他多种形式。人们在认识能量的过程中，逐步建立了功的概念，并且认识到功和能是两个相互联系的物理量。

想想练练

1. 改变汽车的质量和速度，都能使汽车的动能发生改变，在下列几种情况下，汽车的动能各是原来的几倍？

- (1) 质量不变，速度增大到原来的 2 倍；
- (2) 速度不变，质量增大到原来的 2 倍；
- (3) 质量减半，速度增加到原来的 4 倍；
- (4) 速度减半，质量增大到原来的 4 倍。

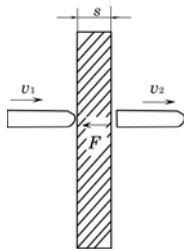


图 4-14 第 3 题图

2. 质量为 10kg 、以 0.8km/s 的速度飞行的子弹，与质量 60kg 、以 10m/s 的速度奔跑的运动员，二者相比，哪一个的动能大一些？

3. 质量是 2g 的子弹，以 300m/s 的速度水平射入厚度是 5cm 的木板，射穿后子弹的速度是 100m/s 。子弹在射穿木板的过程中所受到的平均阻力是多大（如图 4-14 所示）？

4. 质量为 $m=500\text{g}$ 的物体，原来的速度 $v_1=2\text{m/s}$ ，受到一个与运动方向相同的力 $F=4\text{N}$ 的作用，发生的位移 $s=2.5\text{m}$ ，物体的末动能是多大？

4.3 势能

目标要求

了解重力势能和弹性势能的概念，知道机械能是人类生活中常见的能量形式。

重力的功

我们知道，如图 4-15 所示，无论人是爬楼梯还是爬竖直梯，重力所做的功都是一样的。

研究表明，物体运动时，重力对物体做的功只与它的起点和终点的位置有关，而与物体运动的路径无关。

重力的功可用公式表示为

$$W_G = mg \cdot \Delta h \\ = mgh_1 - mgh_2$$

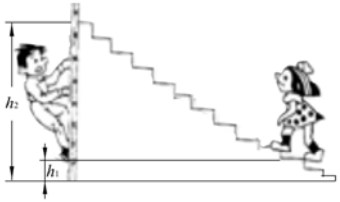


图 4-15 重力的功

重力势能 物体所受的重力 mg 与所处位置的高度 h 的乘积 mgh ，是一个具有特殊意义的物理量。在物理学中，把 mgh 叫做物体的重力势能。重力势能是由地球和地球上的物体由于相对位置决定的能，用 E_P 表示重力势能，则

$$E_P = mgh$$

上式表明，物体的重力势能等于它所受重力 mg 和所在高度 h 的乘积。

重力势能是标量。与功的单位一样，在国际单位制中，它的单位是 J。

例如，一质量 $m=2\text{kg}$ 的显示器放在电脑桌上，桌面与地面的高度为 $h=0.8\text{m}$ ，这台显示器的重力势能为 $E_P = mgh = 2 \times 9.8 \times 0.8\text{J} = 15.7\text{J}$ 。

重力势能变化与重力做功 有了重力势能表达式，重力的功的计算式 $W_G = mgh_1 - mgh_2$ 可以写成

$$W_G = E_{P1} - E_{P2}$$

可见，重力做的功等于重力势能的减少。

当物体由高处运动到低处时，重力做正功，重力势能减少，减少的重力势能等于重力所做的功。

当物体由低处运动到高处时，物体克服重力做功（重力做负功），重力势能增加，增加的重力势能等于物体克服重力所做的功。

重力势能的相对性 我们说物体具有重力势能 mgh ，这总是相对于某个水平面来说的，这个水平面叫做参考平面。选择哪个水平面作为参考平面，可视研究问题的方便而定（如图 4-16 所示如选 B 处的人为参考，则 A 处的重力势能为正， C 处的重力势能为负）。通常选择地面作为参考平面。

例题 如图 4-17 所示，质量 $m=0.5\text{kg}$ 的小球，从距桌面高 $h_1=1.2\text{m}$ 的 A 点下落到地面上的 B 点，已知桌面高 $h_2 = 0.8\text{m}$ ，分别以桌面、地面为参考平面，试求小球在 A 、 B 点具有的重力势能（取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）。

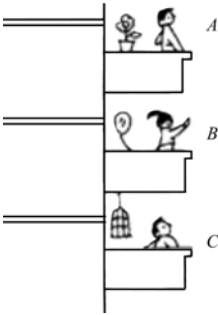


图 4-16 势能的相对性

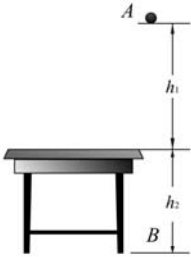


图 4-17 例题图

解 当选桌面为参考平面时:

小球在 A 点的重力势能 $E_{\text{PA}} = mgh_1 = 6\text{J}$

小球在 B 点的重力势能 $E_{\text{PB}} = mg(-h_2) = -4\text{J}$

当选地面为参考平面时:

小球在 A 点的重力势能 $E'_{\text{PA}} = mg(h_1 + h_2) = 10\text{J}$

小球在 B 点的重力势能 $E'_{\text{PB}} = 0$

弹性势能 发生形变的物体, 在恢复原状时能够对外界做功, 因而具有能量, 这种能量叫做**弹性势能**。卷紧了的发条、拉弯了的弓、击球时的网球拍或羽毛球拍, 正在支撑运动员起跳的撑杆等, 都具有弹性势能, 如图 4-18 所示。弹性势能跟形变的大小有关系, 如弹簧的弹性势能与弹簧被拉伸或压缩的长度有关, 被拉伸或压缩的长度越长, 恢复原状时对外做的功就越多, 弹簧的弹性势能就越大。

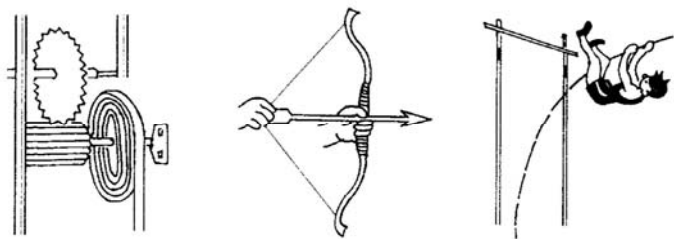


图 4-18 弹性势能的应用

想想练练

下面各题都以地面作参考面。

1. 质量是 5kg 的物体放在 0.9m 高的桌面上, 具有多少重力势能?
2. 质量是 50kg 的人沿着长 200m 、倾角为 30° 的坡路走上土丘, 重力对他所做的功是多少? 他克服重力所做的功是多少? 他的重力势能增加了多少?
3. 质量是 100g 的球从 2m 的高处落到水平面上, 又弹回到 1.4m 的高度, 在整个过程中重力对球所做的功是多少? 球的重力势能变化了多少?

4.4 机械能守恒定律

目标要求

理解机械能守恒定律, 并能用机械能守恒定律分析生活和生产中的有关问题。

机械能守恒定律

实验探究

如图 4-19 所示的装置。把小球用细线悬挂进来，将小球拉到一定高度 A 点，然后释放，小球摆动起来。小球在摆动中动能和重力势能发生相互转化。我们可以观察到，小球可以摆到与 A 点相同高度的 C 点，如图 4-19 (a) 所示。如果用尺子在悬挂点下方的某一点挡住细线，小球虽然不能摆到 C 点，但摆到另一端时，却能达到与 A 点相同的高度 D 点，如图 4-19 (b) 所示。请思考，该实验结果说明了什么？

实验表明：在小球摆动的机械运动中，动能与势能可以相互转化。

机械能 在物理学中，把物体由于机械运动而具有的能量称为机械能。它是物体的动能与势能之和，若用符号 E 表示机械能，则有

$$E = E_k + E_p$$

实验还表明：小球在摆动过程中机械能守恒。

机械能守恒定律 如图 4-20 所示，设一个质量为 m 的物体自由下落，经过高度为 h_1 的 A 点（初位置）时速度为 v_1 ，下落到高度为 h_2 的 B 点（末位置）时，速度为 v_2 。由动能定理可得，重力做的功

$$W_G = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

又因为

$$W_G = mgh_1 - mgh_2$$

由上面两式可得

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_1 - mgh_2$$

此式表明，自由下落的物体，动能的增加量等于其势能的减少量。

将上式移项后可得

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$$

图 4-20 研究机械能守恒

或者

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}$$

上式表明，在自由落体运动中，动能和重力势能之和即总的机械能保持不变。

上述结论不仅对自由落体运动是正确的，而且可以证明，在只有重力做功的情况下，不论物体作直线运动还是曲线运动，上述结论都是正确的。

在只有重力做功的条件下，物体的动能和势能可以相互转化，且机械能总量保持不变，即

$$E = E_k + E_p = \text{恒量}$$

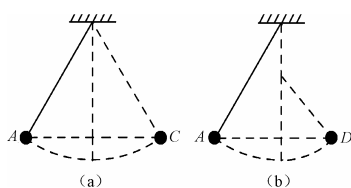
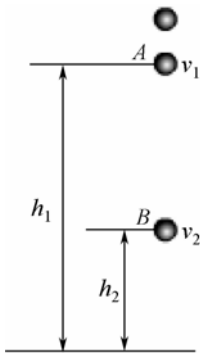


图 4-19 伽利略摆



这个结论叫做机械能守恒定律。

机械能守恒定律的应用

解决某些力学问题，应用机械能守恒定律求解往往比较方便。

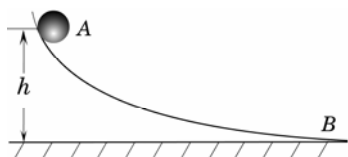


图 4-21 例题 1 图

应用机械能守恒定律时，必须分析物体或系统的受力情况，判断是否满足机械能守恒的条件。

例题 1 一个物体从高 h 的光滑曲面顶端由静止开始滑下，如图 4-21 所示。不计空气阻力，求物体滑到曲面底端时的速度为多大。

分析 物体沿曲面向下作变加速运动，直接用牛顿第二定律和运动学公式来解非常困难。物体运动过程中受重力和支持力作用，而支持力始终与运动方向垂直，不做功，又不计摩擦和空气阻力，因此，满足机械能守恒条件。

解 设物体的质量为 m ，选地面为参考平面。

在初位置 A: $E_{p1}=mgh$, $E_{k1}=0$ 。

在末位置 B: $E_{p2}=0$, $E_{k2}=\frac{1}{2}mv^2$

根据机械能守恒定律有 $E_{k2}+E_{p2}=E_{k1}+E_{p1}$ ，即

$$\frac{1}{2}mv^2=mgh$$

解得

$$v=\sqrt{2gh}$$

由结果可以看出，物体滑到 B 点时的速度大小只与下滑的高度 h 有关，而与物体的质量、轨迹的形状等无关。

例题 2 用细绳悬挂一个质量为 m 的小球，绳的另一端固定在 O 点，绳长为 l ，如图 4-22 所示。将细绳连同小球一起拉至与竖直方向成 α 角的位置，然后释放。求小球到达最低点时的速度为多少。

分析 本题不能直接用牛顿第二定律和运动学公式求解。因此，应考虑用机械能守恒定律：小球运动过程中受重力和绳的拉力，但后者不做功，因此机械能守恒。

解 根据机械能守恒定律有

$$E_{kB}+E_{PB}=E_{kA}+E_{PA}$$

代入数据得

$$\frac{1}{2}mv_B^2+0=0+mgl(1-\cos\alpha)$$

解得

$$v_B=\sqrt{2gl(1-\cos\alpha)}$$

由以上例题可以看出，应用机械能守恒定律解题，具有两个特点：一是由于不必考虑两种状态之间过程的细节，给问题研究带来方便；二是对于应用牛顿第二定律难以解决的问题，如曲线运动或变力等情形，只要满足机械能守恒条件，应用机械能守恒定律都能迎刃而解。

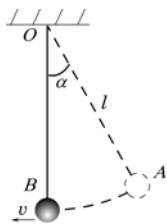


图 4-22 例题 2 图



想想练练

下列各题不考虑摩擦和空气阻力，取 $g=10\text{m/s}^2$ 。

1. 打桩机重锤的质量是 250kg ，把它提升到离地面 25m 的高处，然后让它自由落下，取地面作参考平面。

(1) 重锤在最高点时：重力势能 $E_{p1} =$ _____，动能 $E_{k1} =$ _____，机械能 $E_1 =$ _____。

(2) 重锤下落 10m 时：重力势能 $E_{p2} =$ _____，动能 $E_{k2} =$ _____，机械能 $E_2 =$ _____。

(3) 重锤下落到地面时：重力势能 $E_{p3} =$ _____，动能 $E_{k3} =$ _____，机械能 $E_3 =$ _____。

2. 在离地面某一高度处竖直向上抛出一个小球，小球的质量 $m=1\text{kg}$ ，抛出时的初速度 $v_0=4\text{m/s}$ ，取抛出点的水平面为参考平面，最高点离参考平面的高度是多少？

3. 把质量 $m=2\text{kg}$ 的石头从 $h=20\text{m}$ 高的山崖上以 30° 向斜上方抛出，抛出时的初速度 $v_0=5\text{m/s}$ ，石头落到山崖下的地面速度是多大？

4.5★ 机械振动 机械波

目标要求

了解机械振动的特点，了解描述振动的几个物理量；了解受迫振动和共振的概念，知道共振产生的条件。

了解机械波的产生条件，能区别横波和纵波；了解波长、频率和波速的物理意义，知道它们之间的关系。

前面我们学习了匀速直线运动、匀变速直线运动和匀速圆周运动的规律，本节我们学习一种比较复杂的运动——机械振动和由机械振动而引起的能量传播——机械波的初步知识。机械振动和机械波（简称振动和波）是力学的重要内容之一。学好这部分知识，有助于今后学好交流电、电磁振荡、光波等知识。

机械振动

在日常生活和生产实践中，我们经常观察到振动现象。例如，钟摆的摆动、水中浮标的上下浮动、微风中树梢的摇摆、内燃机汽缸内活塞的往复运动等，都是**机械振动**。

简谐振动 在如图 4-23 所示的装置中，一个有光滑孔的小球套在一根水平光滑杆上。弹簧左端固定，右端连着小球，且弹簧的质量与小球质量相比可以忽略。这样的系统称为**弹簧振子**。小球静止的位置 O 称为**平衡位置**。

下面我们来分析弹簧振子的运动。当振子被拉到 B 位置时，被拉长的弹簧对振子产生向左的弹力。释放后，振子在弹力作用下向左作加速运动，速度逐渐增加；到达 O 位置时，速度达到最大，由于振子有惯性，会继续运动；当振子经过平衡位置 O 后压缩弹簧，振子受到弹簧向右的弹力阻碍其运动，使振子做减速运动，到达最左端 C 位置时，振子速度减小到零，此时

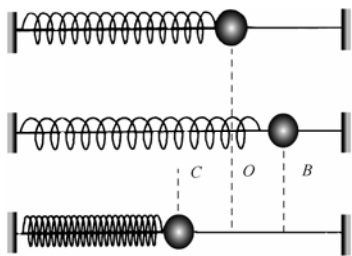


图 4-23 弹簧振子的振动

弹簧压缩量最大；然后在弹力作用下，振子又向右加速运动。然后到 O 点，再回到 B 点，完成一次全振动。

尽管在振动过程中振子受到重力和杆的支持力的作用，但这两个力相互平衡，并不影响振子的振动。在振动过程中，振子受到的是弹簧的弹力。弹力的方向总是指向平衡位置，即与位移方向相反，因此这种力又称为回复力。根据胡克定律，回复力 F 的大小与位移 x 成正比，即

$$F=-kx$$

式中，负号表示回复力的方向与位移方向相反， k 称为振子的回复系数。

物体在与位移大小成正比的回复力作用下的振动，叫做简谐振动。像弹簧振子，音叉、一端固定的金属簧片、单摆的振动等，都属简谐运动。

描述简谐振动的物理量 我们以图 4-23 中弹簧振子振动为例来研究描述简谐振动的物理量。

振幅 振动物体离开平衡位置的最大距离叫做振幅，振幅用 A 表示，在图 4-23 中， $A=OB=OC$ 。振幅是表示物体振动强弱的物理量。

周期和频率 简谐振动是一种周期性运动，如果从振子通过 O 点时刻开始计时，它运动到 B ，然后向左回到 O ，又继续向左运动到 C ，之后又向右回到 O ，这样一个完整的振动过程称为一次全振动，所用时间称为一个周期。即做简谐运动的物体完成一个全振动所需要的时间，叫做振动的周期，用 T 来表示，单位为秒（s）。

单位时间内完成全振动的次数，叫做振动的频率。频率用 f 表示，单位为赫兹，简称赫，符号为 Hz。周期与频率都是表示振动快慢的物理量。

由定义知：

$$f=\frac{1}{T}$$

单摆

实验探究

观察单摆的运动。如图 4-24 所示，把一个小球拴在一根细线的下端，细线的上端固定，如果线的质量与小球相比可以忽略，球的直径与线长度相比也可以忽略，这种装置叫做单摆。单摆是一种理想化的模型。

让摆球从 B 点释放，则它将在 BOC 之间往复运动。请注意观察单摆摆动的规律。

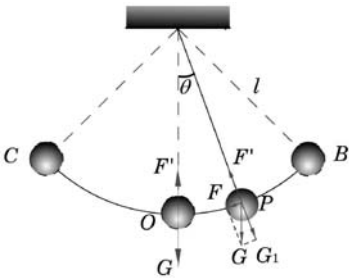


图 4-24 单摆运动的受力分析

从实验可知，单摆的运动轨迹是一段圆弧 BC ， O 为平衡位置。其运动的回复力 F 由重力 G 和绳子的拉力 F' 提供。理论分析表明，在摆角很小（ $\theta<5^\circ$ ）的情况下，摆球受到的力 F 的大小与摆的位移的大小成正比，力 F 的方向总是指向平衡位置，因此，单摆的振动是简谐运动。

单摆的周期 荷兰物理学家惠更斯通过大量的研究后指出：单摆的振动周期与摆长的平方根成正比，与重力加速度的平方根成反比，并给出了单摆振动的周期公式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

式中, l 为摆长, g 为重力加速度。

周期公式表明, 单摆的周期和振幅和摆球质量均无关系。可以通过实验验证, 只要保持足够小的偏角, 无论怎样改变单摆的振幅, 单摆的振动周期均不变。单摆的这种性质叫做单摆的等时性。

受迫振动

物体的振动频率(或周期)由物体本身的性质决定, 与振幅的大小无关, 这种振动叫做固有振动。相应的振动频率叫做固有频率, 振动周期叫做固有周期。

阻尼振动 前面我们研究弹簧振子和单摆振动时, 如果不存在摩擦阻力和空气阻力, 振子的机械能守恒, 因此振子会一直振动下去。实际上, 阻力是始终存在的, 由于克服阻力做功, 因此其振幅将会越来越小, 直至停下来。这种振幅逐渐减小的振动叫做阻尼振动。振动系统受到的阻尼越大, 振动的能损失越快, 振幅减小得越快, 阻尼过大时, 系统不能发生振动。

受迫振动 如果能适时补充振动过程中消耗的能量, 那么, 虽有摩擦和其他阻力存在, 物体也可以继续振动下去。最简单的办法就是将周期性的外力作用于振动物体。这种周期性的外力叫驱动力。物体在周期性外力作用下的振动叫做受迫振动。机器转动时底座发生的振动、缝纫机针持续上下的振动、扬声器纸盆的振动, 都属于受迫振动。

实验探究

受迫振动的频率与什么有关系呢? 可以进行如图 4-25 所示的实验。匀速转动摇柄, 摇柄对弹簧振子就产生周期性的驱动力, 使振子作受迫振动。驱动力的周期和摇柄的周期是相同的。改变摇柄的转速, 作受迫振动的振子在达到稳定状态后的周期总是等于驱动力的周期。由此可知, 物体作受迫振动达到稳定状态后的频率等于驱动力的频率, 而与物体的固有频率无关。

共振 如图 4-26 所示实验, 在一根张紧的绳子上挂几个单摆, 其中 A 、 B 的摆长相同。当 A 摆振动时, 通过张紧的绳子将给其他各摆施加驱动力, 使其余各摆作受迫振动。驱动力的频率等于 A 摆的频率, 它决定于 A 摆的摆长; 其他各摆的固有频率都决定于自身的摆长。

实验发现, 系统做受迫振动时, 如果驱动力的频率十分接近系统的固有频率, 系统的振幅会很大。这就是说, 驱动力的频率 f 与振动物体的固有频率 f_0 越接近, 受迫振动的振幅越大, 两者相差越大, 受迫振动的振幅越小。如图 4-27 所示为某系统的受迫振动的振幅与驱动力频率之间的变化关系, 可以看出, 驱动力的频率 f 与物体的固有频率 f_0 相等时, 振幅最大, 这种现象叫做共振。

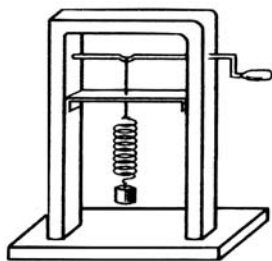


图 4-25 受迫振动实验

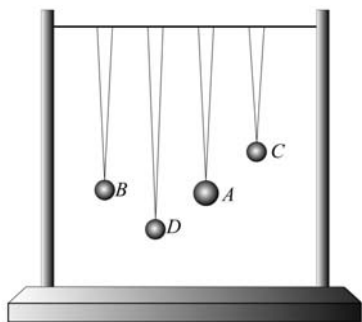


图 4-26 共振实验

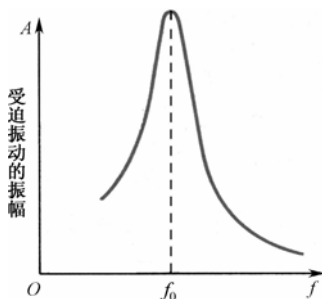


图 4-27 共振曲线

共振在生产技术上的应用是很广泛的。例如，装在同一支架上的许多不同长度的钢片，可制成测量各种发动机转速的转速计。转速计在与开动着的机器紧密接触时，发动机的转动就会引起转速计的轻微振动，转速计中固有频率与发动机的转数一致或近似的那片钢片会产生明显的振动，从钢片的固有频率即可知道机器的转数。

在有些情况下，共振现象可能造成损害，要注意防止。例如，火车通过桥梁时对铁轨接头的冲击力、军队的整齐步伐对桥面的作用力、波浪对轮船的冲击力，都构成周期性的驱动力，而桥梁、轮船都各有其固有的频率，若发生共振，必然造成危害。

机械波

实验探究 1

取一条较长的软绳，用手握住一端拉平后向上抖动一次，可以看到绳上形成一个凸起部分，这个凸起部分向另一端传去。向下抖动一次，可以看到绳上形成一个凹下部分，这个凹下部分也向另一端传去。连续向上、向下抖动长绳，可以看到一系列波的传播。在绳上做个标记，在波动过程中，这个标记怎样运动？如图 4-28 所示，它是否随着波向绳的另一端移动。



图 4-28 沿绳传播的波

实验探究 2

将螺旋弹簧用水平细绳悬吊起来（如图 4-29 所示），它的左端与带有钢片的金属球紧密相连，使金属球在钢片上左右振动，金属球压动弹簧，可以看到弹簧内就出现疏密相间的状况，并且这种状况迅速由左向右传播，形成一系列疏密相间的波。

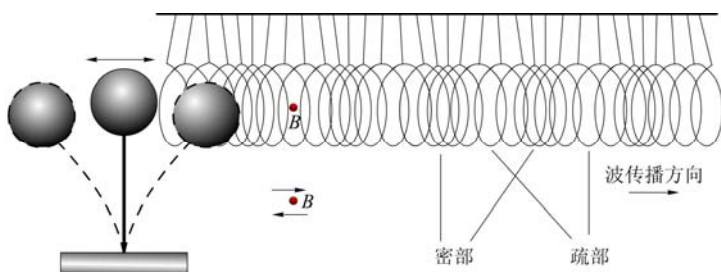


图 4-29 沿弹簧传播的波（此图正在重新制作中）

在上面两个例子中，绳上和弹簧上的波是在绳和弹簧上传播的，声波是在空气中传播的。绳、弹簧、空气等是波借以传播的媒介物，叫做**介质**。组成介质的质点之间有相互作用，一个质点的振动会引起相邻质点的振动，机械振动在介质中的传播，叫做**机械波**，简称**波**。

介质中有机械波传播时，介质本身并不随波一起传播。介质中的质点的振动带动其他质点振动，使振动在介质中逐渐传播。波在介质中传播，只是振动状态的传播，介质中的质点并没有随着波一起迁移。观察漂浮在波动水面上小船，可以看到，小船只在原处上下浮动，并不随波而去。

介质中本来静止的质点，随着波的传来而开始振动，表明它获得了能量。显然，质点获得的能量是从波源通过前面的质点依次传来的。由此可见，波在介质中传播的过程，也是能量传播的过程，波是能量传递的一种形式。

横波与纵波 按照质点振动方向和波的传播方向的关系，波分为横波和纵波。

横波 如图 4-28 所示的波，质点（如 A 质点）振动方向和波的传播方向垂直，这种波叫做**横波**。横波内相间出现凸起部分和凹下部分，凸起部分的最高点叫做**波峰**，凹下部分的最低点叫做**波谷**。

纵波 如图 4-29 所示的波，质点（如 B 质点）振动方向与波的传播方向在同一方向上，这种波叫做**纵波**。纵波中质点分布较密的部分叫**密部**，质点分布较稀的部分叫做**疏部**。

波长、频率和波速 以横波为例来讨论波长（如图 4-30 所示）。

波长 波在一个周期内传播的距离，叫做**波长**，用 λ 表示。

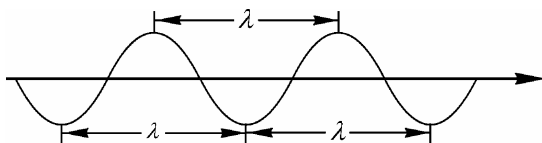


图 4-30 波长

在横波中，两相邻波峰（或波谷）之间的距离等于波长。在纵波中两相邻密部（或疏部）之间的距离等于波长。

周期（频率） 在波动中，各个质点的振动周期或频率是相同的，它们都等于振动周期或频率，这个周期或频率也叫做波的周期或频率。

波速 波传播的速度叫做**波速**。波速的大小取决于介质自身的物理性质。在均匀介质中，波是匀速传播的。

由于在一个周期 T 内, 波的传播距离是 λ , 因此波的传播速度

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

因 $f = \frac{1}{T}$, 所以波速的公式还可以写成

$$v = \lambda f$$

这两个公式, 对机械波及以后要学习的电磁波和光波都是适用的。



想想练练

1. 单摆的摆长, 摆球的质量, 摆的振幅 (始终保持很小), 当地的重力加速度, 这几个物理量中, 哪几个与摆的振动周期有关?
2. 波在介质中传播时, 介质中的质点做什么运动?
3. 一艘渔船停泊在岸边, 如果海浪的两个相邻波峰的距离是 6m, 海浪的速度是 15m/s, 渔船摇晃的周期是多少?

本章小结

本章主要讲述了功和能的关系——功是能量转化的量度及机械振动与机械波的基本知识。

1. 功 ($W = F \cos \theta$)、功率 ($P = \frac{W}{t}$) 的概念和计算。功率与速度的关系。
2. 动能 ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$) 的概念和计算, 动能定理 ($W = E_{k2} - E_{k1}$) 及应用。
3. 势能 (重力势能 $E_p = mgh$ 和弹性势能)、机械能的概念和计算, 机械能守恒定律 ($E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$) 及应用。
4. 机械振动、简谐运动 (回复力)、阻尼振动、受迫振动和共振的概念和特点。单摆及其振动周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 与应用。
5. 机械波、横波和纵波的概念, 波速、波长和频率及它们的关系 $v = \lambda f$ 。

第 5 章 热现象及应用



春天一来，冰雪消融，大地复苏。残雪、浮冰、春水，还有看不见的弥漫在水中的水汽，形成一幅美丽的画卷。

水，为什么会以如此不同的形式存在？壮丽的大自然背后隐藏着什么秘密呢？

5.1 分子动理论

目标要求

了解扩散现象与分子动理论的基本观点；认识温度、温标，知道一些在生产、生活中的温度、气体压强的测量方法；了解分子动理论在生产、生活中的一些应用。

分子运动理论

在初中时我们已经学过，物体是由大量分子组成的，而分子是非常微小的。测定分子大小的方法有许多种。尽管用不同的方法测出的结果有差异，但数量级是一致的，多数分子尺寸的数量级为 10^{-10}m 。如此小的分子用肉眼根本无法直接看到它们，就是用高倍的光学显微镜也看不到。直至 1982 年，人们研制了放大几亿倍的扫描隧道显微镜，才观察到物体表面原子的排列，使人类第一次实际看到了单个原子。

一切物质分子都在永不停地做无规则的运动，而这种运动与什么因素有关呢？

实验探究

在两只烧杯中，分别装有冷、热两种清水，同时滴两滴墨水到两烧杯中，观察两杯水中的颜色现象。

扩散现象 从实验和生活现象中我们可以发现，不同物质能够彼此进入对方，我们把这种现象叫做扩散。

扩散现象并不是外界作用引起的，也不是化学反应的结果，而是由物质分子无规则运动产生的。如图 5-1 所示的酱油中的色素扩散到鸡蛋里面，这是人力无法阻挡的。

实验表明，在扩散现象中，温度越高，扩散得越快。这表明，分子无规则运动与温度有关系，温度越高，分子热运动越剧烈。

分子间的相互作用 气体很容易被压缩；水和酒精混合后总体积会减小；压在一起的金片和铅片，各自的分子能扩散到对方的内部，说明不论气体、液体还是固体分子之间都存在空隙。分子间虽然有空隙，大量分子却能聚集在一起形成固体或液体，这是为什么呢？

研究表明：分子间同时存在引力和斥力，它们的大小都与分子间的距离有关。

如图 5-2 所示，当分子间距离较小时，斥力大于引力，对外表现为斥力；当分子间距离较大时，引力大于斥力，对外表现为引力；当分子间距离恰当时，引力等于斥力，对外表现的分子力为零。



图 5-1 酱油在蛋清中的扩散

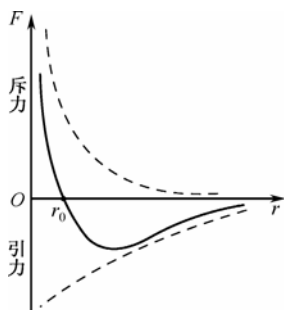


图 5-2 分子力与间距的关系

一般来说，当分子间的距离大于 10 倍的分子直径时，分子力可近似认为等于零。

分子不停地做无规则运动并发生相互作用，决定着物质的三种基本形态：**固态、液态和气态**。

分子动理论 物体是由大量分子组成的，分子在做永不停息的无规则运动，分子之间存在着引力和斥力，这就是**分子动理论**的主要内容。

温度与温标

温度 温度是反映物体冷热程度的物理量。如果两个冷热程度不同的物体相接触，低温物体的温度会升高，高温物体的温度会降低；直到两物体温度相等时，热交换不再继续，我们就说物体之间达到了热平衡。即温度是决定一个系统与另一个系统是否达到热平衡状态的物理量。

温标 如果要定量地描述温度，就必须有一套方法，这套方法就是**温标**。

由于采用方法的不同，所以有不同的温标。我们常用的温标是摄氏温标，符号为 $^{\circ}\text{C}$ ；在现代科学中用的是热力学温标，用热力学温标表示的温度叫**热力学温度**，它是国际单位制中七个基本单位之一，用符号 T 表示，单位是**开尔文**，简称**开**，符号为 K 。

摄氏温度 (t) 与热力学温度 (T) 的关系为

$$T = (t + 273.15)\text{K}$$

气体的压强

与固体、液体相比，气体是很容易压缩的，这说明气体分子不像固体分子或液体分子那样距离很近，气体分子之间有很大的空隙。气体能够充满整个容器，这说明气体分子除了在相互碰撞的短暂时间外，相互作用力十分微弱，气体分子可以自由地运动。实际上，气体分子运动的速率很大，常温下大多数气体分子的速率都达到几百米每秒，这在数量级上相当于子弹的速率。

我们已经知道，大气对物体的表面会产生压强，密封容器中的气体对器壁是不是也有压强？在玻璃罩内放一个充气不多的气球，球皮是否受到球内气体的压强？用抽气机把玻璃罩内的空气抽去，抽气过程中会看到气球在不断膨胀，这说明了球内的气体确实对球皮产生了由内向外的压强，只是由于大气对于气球还有由外向内的压强，所以平时气球不会胀破，如图 5-3 所示。我们所说的气体的压强，指的就是气体对容器壁的压强。在国际单

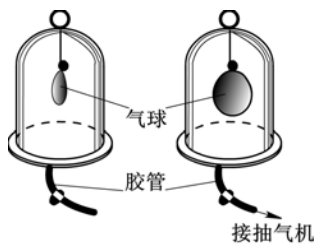


图 5-3 研究气体压强

位制中，压强的单位是帕斯卡，简称帕，符号是 Pa。

气体的压强是大量气体分子对容器的碰撞产生的。单个分子撞击器壁时对器壁的作用力很小，作用时间也很短暂，但是大量分子不断地和器壁碰撞，就对器壁产生了持续的压力。就好像密集的雨点打在雨伞上一样，雨点虽然很小并且是一滴一滴打在伞上的，但大量密集雨点的撞击，使伞受到持续的作用力。

想想练练

1. 请你通过一个日常生活中的扩散现象来说明：温度越高，分子运动越激烈。
2. 为什么物体能够被压缩，但压缩得越小，进一步压缩就越困难？
3. 天气预报某地某日的最高气温是 27°C ，它是多少开尔文？进行某项低温物理研究时，热力学温度是 2.5K ，它是多少摄氏度？

5.2 能量守恒定律

目标要求

了解热力学第一定律，知道能量守恒是自然界中最基本、最普遍的规律之一；能运用能量守恒定律解释一些自然界中能量的转化问题；了解能源与人类生存和社会发展的关系，知道可持续发展的重大意义。

内能

分子动能 宏观物体运动时具有动能，同样，做无规则热运动的分子也具有动能。

在物体里，分子运动速率有大有小，因此，各分子的动能也不相同。在热现象研究中，我们所关注的是物体里所有分子动能的平均值，这个平均值叫做**分子的平均动能**。温度越高，分子热运动越剧烈，分子的平均动能就越大。

可见，**温度标志了物体分子热运动的平均动能**。

分子势能 除了分子动能，分子间也存在势能。这是由分子间相对位置所决定的，称为**分子势能**。物体体积改变时，分子间距离发生改变，分子势能也会发生改变。可见，分子势能与物体体积有关。

内能 物体中所有分子做热运动的动能和分子势能的总和叫做**物体的内能**。一切物体都是由不停地做无规则运动并且相互作用着的分子组成的，因此任何物体都具有内能。

由于分子平均动能与温度有关，分子势能与体积有关，因此，物体内能与物体的温度和体积都有关。温度升高时，分子动能增加，因而物体内能增加；体积变化时，分子势能随之变化，物体内能也发生变化。

想一想

天寒地冻，人们总爱搓手以防手指冻伤，这是什么道理呢？

实验探究

如图 5-4 所示，将一小块浸过乙醚的棉花放入一个坚固的玻璃筒的底部，快速压下活塞，对筒内的气体做功，气体的内能迅速增加，气体温度升高，观察有什么现象发生。



图 5-4 乙醚燃烧

挫削工件时，工件和挫刀会发热；锯割木头时，锯条和木头会发热；用砂轮磨刀具时，砂轮和刀具也会发热；用打气筒给自行车打气时，打气筒也发热。这些都说明，对物体做功可以改变物体的内能。

柴油发动机汽缸内就是通过快速压缩雾状柴油来实现点火的。

炉子上的一壶水，经加热，温度越来越高；离开炉子后，一会儿水又变凉了。这时，尽管没有对水做功，水的内能却改变了。这种没有做功而使物体内能改变的过程叫热传递。热传递也能改变物体的内能。

热传递的方式有三种，即热传导、热对流和热辐射。

热力学第一定律

做功和热传递都可以改变物体的内能。设外界对物体做功为 W ，外界传递给物体的热量为 Q ，物体内能的改变量为 ΔU ，则

$$\Delta U = Q + W$$

上式可表述为：一个热力学系统的内能的改变等于外界传递给物体的热量和外界对物体做功的总和。这就是热力学第一定律。

- 若外界对物体做功， $W > 0$ ；物体对外界做功， $W < 0$ 。
- 若物体从外界吸热， $Q > 0$ ；物体对外界放热， $Q < 0$ 。
- 若物体内能增加， $\Delta U > 0$ ；物体内能减小， $\Delta U < 0$ 。

例题 一定量的气体从外界吸热 60kJ，同时对外做功 80kJ，物体内能改变了多少？

解 根据热力学第一定律有

$$\Delta U = Q + W = 60 + (-80) = -20 \text{ kJ}$$

负号说明物体的内能减少了。

能量守恒定律 过去我们学过机械能守恒定律，其实那只是普遍的能量守恒在机械能范围内的表现。能量守恒不是由某一个人通过某一项研究而得到的。从 18 世纪末到 19 世纪 40 年代，不同领域的科学家从不同的角度都提出了能量守恒的思想。热力学第一定律深刻地揭示出：自然界的能量是守恒的。

能量守恒定律可以表述为：能量既不能凭空产生，也不能凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移过程中其总量保持不变。

能量守恒定律告诉我们，各种形式的能可以相互转化。燃料燃烧生热，化学能转化成内能；在吸热的化学反应中，内能转化为化学能；在发电机和电动机里，电能与机械相互转化；电灯发光，电能转化为光能；蓄电池充电和放电时，化学能与电能相互转化……事实表明，在所有这些转化过程中，能量都是守恒的。

能量守恒定律的意义在于它把原来人们认为互不相关的各种现象——力学的、热学的、电学的、磁学的、光学的、化学的……联系在一起，把表面上完全不同的各类运动统一在一个自然规律中。现在，能量守恒定律仍是我们研究自然科学的强有力武器。

能量守恒定律的发现使人们进一步认识到：任何一部机器，只能使能量从一种形式转化为另一种形式，而不能无中生有地创造能量。工程技术的任务在于设法找出合理利用能源的途径，并减少机器运转过程中不必要的能量损耗，而不是去研制根本无法实现的“永动机”。

想一想

既然能量是守恒的，不可能消灭，为什么我们还要节约能源呢？

想想练练

1. 用活塞压缩汽缸里的空气，对空气做了 900J 的功，同时汽缸向外散热 210J，汽缸里空气的内能改变了多少？
2. 某风景区有一处约 20 层楼高的瀑布，甚为壮观。假设水下落时减少的机械能全部转化为水的内能，请估计：瀑布上、下水潭的水温相差多少？

社会调研

收集资料，讨论能源开发和利用带来的问题及应该采取的对策；讨论“永动机”为什么不能实现。

本章小结

本章主要讲述了分子动理论和能量守恒定律

1. 分子动理论——物质是由大量分子组成的；分子永不停息的做无规则的热运动；分子间存在相互作用的引力和斥力。
2. 温度与温标，温度与分子平均动能。气体的压强的产生和测量。
3. 内能（分子动能、分子势能）的概念和改变内能方式。热力学第一定律 $\Delta E = W + Q$ 。
4. 能量守恒定律及其应用。

第6章 电 场



静电与我们的生活息息相关。地球周围空间就是一个巨大的静电世界。空气中含有带电粒子，地球上空的电离层对于地面有电势差，暴风雨中的电闪雷鸣正是静电作用的结果。如何趋利避害，让静电更好地为人类服务？本章我们将探索静电及其应用。

6.1 电场的描述

目标要求

理解点电荷电场、电场强度、电场线、匀强电场的概念，掌握电场强度的计算。

我们知道，自然界中存在着两种电荷：正电荷和负电荷；同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。电荷之间并没有接触，那么它们的相互作用是怎样产生的呢？

电场

电荷周围存在电场 英国的法拉第（1791—1867）提出，电荷周围存在着一种叫做电场的特殊物质。电荷间的相互作用，就是借助它们的电场进行的。例如，电荷 A 和 B 的相互作用是通过电场发生的：电荷 A 对电荷 B 的作用，实际上是电荷 A 的电场对电荷 B 的作用；电荷 B 对电荷 A 的作用，实际上是电荷 B 的电场对电荷 A 的作用（如图 6-1 所示）。



图 6-1 电场

电场对电荷有力的作用 放入电场中的电荷会受到电场对它的力的作用，这种作用力叫做**电场力**。电场对处在其中的电荷有力的作用，这是电场的基本性质。

点电荷 人们发现，带电体之间的相互作用不仅与带电体所带电荷量的多少有关，还与带电体的形状、大小和间距等因素有关。当实际带电体的大小远小于它们之间的距离时，其形状和大小对其相互作用力的影响就可以忽略不计。为了研究问题的方便，通常把这种情况下的带电体抽象为一个带电的几何点，称为**点电荷**。

电场强度

电场看不见、摸不着，但通过它对电荷的作用，表现了它的客观存在。因此，我们对电场的研究就从电场对电荷的作用力入手。

如图 6-2 所示，先后在电荷 Q 的电场中的 A 、 B 两点放入同一个检验电荷 q （它是体积和带电量都很小的电荷，将其放入电场后不会影响原来的电场），如图 6-2 所示。经测定， q 在 A 、 B 两点受到的电场力不同，在距 Q 近的 A 点受到的电场力大，在距 Q 远的 B 点受到的电场力小。这表明电场中不同点的电场强弱程度不同。

在电场中同一点 A 或 B 放入不同的检验电荷，经测定，它们受到的电场力也不同。

大量的研究表明，虽然不同的检验电荷在电场中同一点所受到的电场力 F 各不相同，但是对于电场中的任一确定点，检验电荷所受的电场力与它的电量的比值是一恒定值。在比值大的点，检验电荷所受的电场力大，说明电场强；在比值小的点，检验电荷所受的电场力小，说明电场弱。我们就用这个比值来表示电场的强弱。

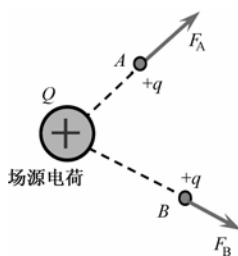


图 6-2 研究电场

放入电场中某点的电荷所受的电场力 F 与它的电荷量 q 的比值,叫做该点的电场强度,简称场强,用 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q}$$

在国际单位制中,电场强度的单位是牛/库,符号是 N/C。

电场强度是矢量。我们规定正电荷在电场中某点所受电场力的方向为该点电场强度方向,那么负电荷在电场中某点所受电场力的方向与该点电场强度方向相反。

电场线 为了形象地描述电场中各点场强的大小和方向,可以在电场中引入一些假想的曲线,曲线上各点的切线方向都和该点的场强方向一致,曲线的疏密程度表示场强的大小,电场线密的地方,表示电场强度大;电场线疏的地方,表示电场强度小。如图 6-3 所示,这样的曲线称为**电场线**。

常见的电场线如图 6-4、图 6-5、图 6-6 和图 6-7 所示。

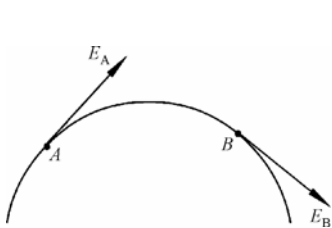
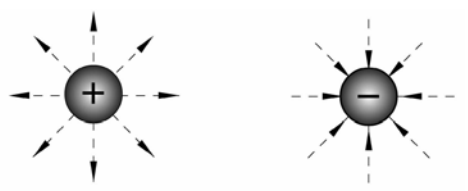
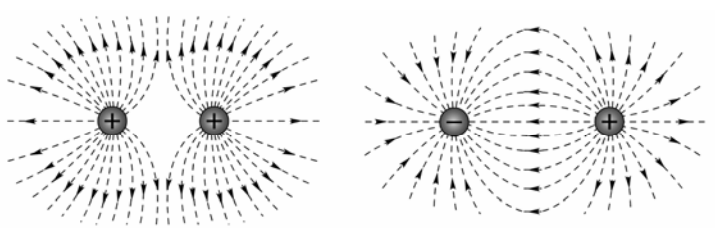


图 6-3 电场线



(a) 正点电荷电场线分布 (b) 负点电荷电场线分布

图 6-4 点电荷的电场线分布



(a) 两个等量同种点电荷的电场线分布 (b) 两个等量异种点电荷的电场线分布

图 6-5 两个点电荷的电场线分布

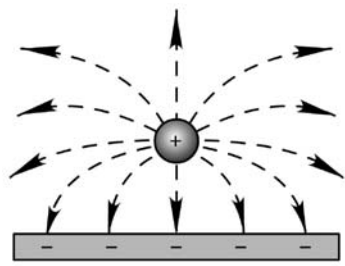
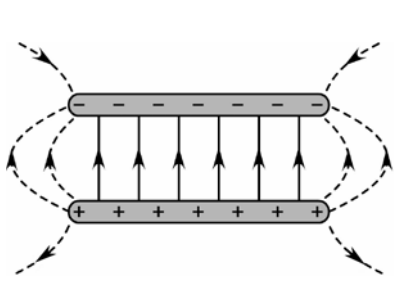


图 6-6 两块带电平行板(带等量异号电荷)的电场线分布 图 6-7 点电荷与带电平板的电场线分布

想一想

观察上面的电场,哪些地方电场强度大? 哪些地方电场强度小? 有没有电场强度相同的地方呢?

匀强电场

观察图 6-6 所示的电场线可以发现,除平行板边缘附近外,平行板之间各点的场强大小和方向都相同,这样的电场就叫做**匀强电场**。匀强电场的电场线是一组间隔相等、互相平行的直线。

在匀强电场中,电荷 q 所受的电场力处处相等,其大小用公式 $F = qE$ 计算。

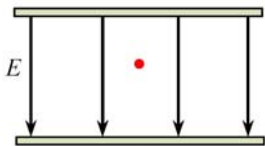


图 6-8 匀强电场中的带电油滴

例题 设平行板间匀强电场的场强 $E = 4.9 \times 10^5 \text{ N/C}$, 如图 6-8 所示, 一质量 $m = 1.6 \times 10^{-10} \text{ kg}$ 的带电油滴在电场中能保持静止。问:

- (1) 小油滴带何种电荷?
- (2) 小油滴带多少电荷?
- (3) 平行板的上、下极板各带何种电荷?

解 (1) 小油滴(重力为 G)能在匀强电场中静止,说明它处于平衡状态,因此,其所受电场力方向向上。又因为匀强电场的场强方向向下,所以,小油滴应带负电荷。

(2) 由二力平衡条件有

$$F = G$$

即

$$Eq = mg$$

所以

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{1.6 \times 10^{-10} \times 9.8}{4.9 \times 10^5} \text{ C} = 3.2 \times 10^{-15} \text{ C}$$

(3) 上、下极板分别带正、负电荷(由电场线方向判断)。

想想练练

1. 什么是电场强度? 怎样判断电场中某点场强的方向?
2. 图 6-9 是某区域的电场线分布。 A 、 B 是电场中的两个点。
 - (1) 哪一点电场强, 哪一点电场弱?
 - (2) 画出各点场强的方向。
3. 如图 6-10 为匀强电场的电场线。画出 A 、 B 两个点电荷所受电场力的方向。



图 6-9 第 2 题图

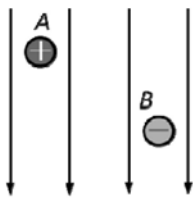


图 6-10 第 3 题图

4. 在真空中有一电场,在这个电场中的某一点 P 放一点电荷 $q = 1.0 \times 10^{-9} \text{ C}$, 它所受到的电场力为 $3.0 \times 10^{-4} \text{ N}$, 求:

- (1) P 点的电场强度的大小。
- (2) 在 P 处换 $q = -2.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的负点电荷,则 P 点的电场强度是多大?
- (3) 将 P 点的点电荷拿走,则 P 点的电场强度为多大?

(4) 负点电荷 $q=-2.0\times 10^{-9}\text{C}$, 它在 P 点受到的电场力是多大?

6.2 电势能 电势 电势差

目标要求

理解电势能、电势、电势差的概念, 了解匀强电场中电势差和电场强度的关系。

电势能

我们知道, 物体由于受到重力的作用而具有的能叫做**重力势能**。重力势能的变化与重力做功相关: 重力对物体做多少功, 重力势能就减少多少; 物体克服重力做多少功, 重力势能就增加多少。

同样地, 电荷在电场中由于受到电场力的作用也具有势能, 这种势能叫做**电势能**, 用 E_{P} 表示。电势能的变化与电场力做功密切相关。当电场力对电荷做正功 ($W_{\text{AB}}>0$) 时, 电势能就减少 ($E_{\text{P1}}-E_{\text{P2}}>0$)。电场力做多少功, 电势能就减少多少 (即 $W_{\text{AB}}=E_{\text{P1}}-E_{\text{P2}}$); 当电荷克服电场力做功时, 电势能就会增加。电荷克服电场力做多少功, 电势能就增加多少。

与重力势能一样, 电势能也具有相对性, 其取值与参考位置 (零电势能点) 的选取有关。**电荷在某点的电势能, 等于电场力把它从该点移到零势能位置时所做的功。**

通常把电荷在离场源电荷无限远处, 或把电荷在大地表面上的电势能规定为零。

电势 电势差

电势 电荷在电场中某一点具有的电势能 E_{P} 与电荷电量 q 的比值是一个定值, 与电荷电量无关。这个比值反映了电场本身的性质, 我们把它叫做该点处的**电势**。电势通常用 φ 来表示, 即

$$\varphi = \frac{E_{\text{P}}}{q}$$

可见, 它是电场本身的属性。电势在数值上等于单位电荷在该点所具有的电势能。

电势是标量。在国际单位制中, 电势的单位是**伏特**, 简称**伏**, 符号是 V , $1\text{V}=1\text{J/C}$ 。

电势的大小与参考位置的选择有关。在工程技术中, 常选大地或仪器中的公共地线为电势的零点。

电势差 电场中两点之间的电势之差叫做**电势差**, 用 U 表示。电势差也叫**电压**。设电场中 A 、 B 两点的电势分别为 φ_{A} 和 φ_{B} , 则 A 、 B 两点的电势差为

$$U_{\text{AB}}=\varphi_{\text{A}}-\varphi_{\text{B}}$$

显然

$$U_{\text{BA}}=\varphi_{\text{B}}-\varphi_{\text{A}}$$

所以

$$U_{\text{AB}}=-U_{\text{BA}}$$

由于将电荷 q 从 A 点移到 B 点电场力做的功 W_{AB} 等于电势能的减少量 $E_{\text{PA}}-E_{\text{PB}}$ (图 6-11 所示)

故

$$W_{\text{AB}}=q\varphi_{\text{A}}-q\varphi_{\text{B}}$$

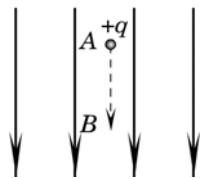


图 6-11 研究电场力做功与电势差的关系

即

$$W_{AB}=qU_{AB}$$

匀强电场中电势差和电场强度的关系

电场强度与电势差从不同侧面反映了电场的性质。通过理论推导可得出下列结论：
在匀强电场中，沿场强方向的两点间的电势差等于场强与这两点间的距离的乘积，即

$$U = Ed$$

或者

$$E = \frac{U}{d}$$

上式表明，在匀强电场中，场强在数值上等于沿场强方向每单位距离上的电势差。

电场强度的单位还可以用 V/m 表示。

沿着电场线方向电势逐渐降低，逆着电场线方向电势逐渐升高。

做一做

N/C 和 V/m 都可以作为电场强度的单位，你能从其中的一个单位推导出另一个单位吗？

想想练练

1. 什么是电势能？电场力对电荷做功与电荷电势能的变化有什么关系？怎样确定电荷在某一点的电势能？

2. 什么是电势差？怎样由电势差计算电场力移动电荷的功？

3. 匀强电场中电势差和电场强度有什么关系？

4. 空气是不导电的，但是如果空气中的电场很强，使得气体分子中带正、负电荷的微粒所受的相反的静电力很大，以致分子破碎，于是空气中就出现了可以自由移动的电荷，空气变成了导体。这种现象叫做空气“击穿”。已知空气的击穿场强为 $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ ，如果观察到某次闪电的火花长约 100 m，则发生此次闪电的电势差为多少？

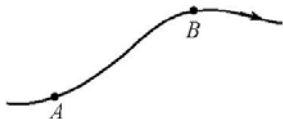


图 6-12 第 5 题图

5. 如图 6-12 所示，A、B 是同一条电场线上的两个点，把一个 $2.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ 的电荷从 A 点移动到 B 点。已知该电荷在 A 点具有的电势能为 $1.8 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，在 B 点具有的电势能为 $8.0 \times 10^{-6} \text{ J}$ ，求：

(1) A、B 两点的电势各是多大？

(2) A、B 两点的电势差是多大？B、A 两点的电势差又是多大？

阅读材料

人类与静电

人类居住的地球周围空间就是一个巨大的电场，地球上空的电离层相对于地面平均有 $3 \times 10^5 \text{ V}$ 电势差。地面附近的电场强度平均值约为 130 V/m 。实际上，人们生活在一个静电世界里。人们平常呼吸的空气，平均每立方厘米中含有 100~500 个带电粒子——离子。

瀑布、喷泉和海边的空气对人的健康有益，使人神清气爽，心情愉快，这是因为这

些地方空气中的负离子浓度比一般地方高得多。

人体本身也是一个奇妙的静电世界，每一个细胞都是一个微型电池，细胞膜内外有 $70\sim 80\text{mV}$ 的电势差。由于细胞膜很薄，通过这层膜的电场强度高达 $1\times 10^4\text{V/m}$ ，这是任何人造电池都望尘莫及的。正是靠细胞膜内外的电势差，人们的神经系统才能快速准确地把视觉、听觉、味觉和触觉信息传递给大脑，并把大脑的命令传达到全身，使人体成为一个高度统一的整体。

6.3★ 带电粒子在匀强电场中的运动

目标要求

了解带电粒子在匀强电场中的运动规律和电子射线管的工作原理。

带电粒子在电场中受到电场力的作用，因此要产生加速度，速度的大小和方向都会发生变化。在现代科学实验和技术设备中，常常利用电场控制带电粒子的运动。下面我们讨论利用电场使带电粒子加速和偏转这两种最简单的情况。

对于质量很小的带电粒子，如电子、质子等，虽然它们会受到万有引力（重力）的作用，但万有引力（重力）一般远小于静电力，可以忽略。

带电粒子的加速

如图 6-13 所示，在真空中有一对平行金属板，与电池组连接而带电，两板间的电势差为 U 。两板间有一个质量为 m ，带正电荷 q 的粒子，在电场力的作用下，由静止开始从正极板向负极板运动，计算它达到负极板的速度。

在带电粒子的运动过程中，电场力对它做的功

$$W=qU$$

设带电粒子到达负极板时的速率为 v ，其动能可写为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

由动能定理可知

$$\frac{1}{2}mv^2 = qU$$

于是求得

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

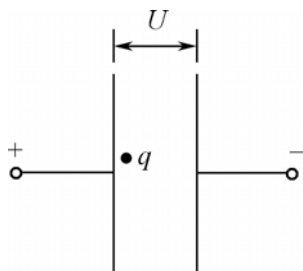


图 6-13 带电粒子的加速

想一想

上述问题中，两平行金属板间的电场是匀强电场。如果两极板是其他形状，中间的电场不是匀强电场，上面的结果是否仍然适用？

例题 1 如图 6-14 中，在金属丝和金属板之间接一电源，电势差 $U=2500\text{V}$ 。炽热的

金属丝发射出的电子在真空中加速后，从金属板的小孔穿出。电子穿出时的速度有多大？（设电子刚刚离开金属丝时的速度为 0，电子的质量 $m=0.9\times 10^{-30}\text{kg}$ 和电子的电荷量 $e=1.6\times 10^{-19}\text{C}$ ）

解 电荷量为 e 的电子从金属丝移动到金属板，两处的电势差为 U ，电势能的变化是 eU 。电势能的变化全部转化为电子的动能，所以

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU$$

解出速度 v 并把数值代入，得

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2500}{0.9 \times 10^{-30}}} \text{m/s} \\ = 3.0 \times 10^7 \text{m/s}$$

带电粒子的偏转

如图 6-15 所示，在真空中放置一对金属板 Y 和 Y' ，把两板接到电源上，于是两板间出现了匀强电场。现有一个电荷量为 q 的带电粒子以水平速度 v_0 射入电场中，带电粒子受到竖直方向的电场力作用，因而发生偏转。

下面通过例题 2 的讨论来研究带电粒子的偏转规律。

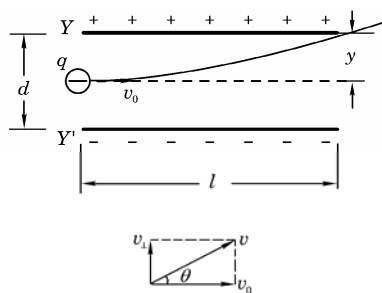
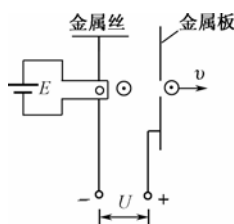


图 6-14 带电粒子的加速，电池 E 用来给金属丝加热

图 6-15 带电粒子的偏转

例题 2 两个相同极板 Y 和 Y' 的长度 $l=6.0\text{cm}$ ，相距 $d=2\text{cm}$ ，极板间的电压 $U=200\text{V}$ （图 6-15）。一个电子沿水平方向射入电场中，射入时的速度 $v_0=3.0\times 10^7\text{m/s}$ 。求电子射出电场时在竖直方向偏移的距离 y 和偏转的角度 θ 。

解 电子所受电场力的方向竖直向上。由于电场是匀强电场，所以整个运动中电子在竖直方向做匀加速直线运动，电子的加速度为

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$$

电子射出电场时，在竖直方向偏移的距离为

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

式中， t 为飞行时间。由于电子在水平方向不受力，所以在这个方向做匀速运动。由 $l=v_0t$ 得

$$t = \frac{l}{v_0}$$

将 a 和 t 代入 y 的表达式中，得到

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{md} \cdot \left(\frac{l}{v_0} \right)^2$$

代入数值得： $y=0.36 \text{ cm}$ 。

即电子射出时在竖直方向偏离 0.36 cm 。

由于电子在水平方向不受力，它离开电场时，这个方向的分速度仍是 v_0 ，而竖直方向的分速度是

$$v_{\perp} = at = \frac{qU}{md} \cdot \frac{l}{v_0}$$

离开电场时的偏转角度 θ 可由下式确定

$$\tan \theta = \frac{v_{\perp}}{v_0} = \frac{qUl}{mdv_0^2}$$

代入数值得： $\theta=6.8^\circ$ 。

做一做

在本例中，其实带电粒子还受到重力作用，但是我们并没有考虑。这是为什么呢？

电子射线管工作原理

电子射线管是用于产生电子束的真空电子器件。它由灯丝、阴极、栅极、阳极、聚焦极几部分组成，如图 6-16 所示，其工作原理可参见本节例题 1。

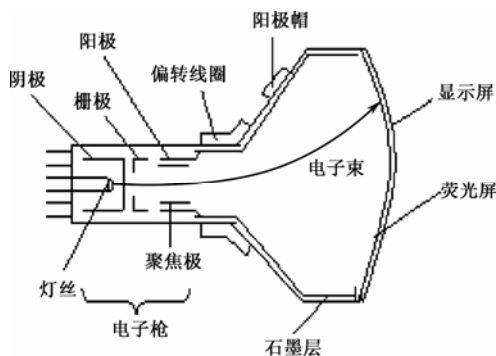


图 6-16 电子射线管

灯丝在通电之后产生高温，使阴极被加热，变热的阴极会释放出大量的电子；栅极用于控制这些电子通过栅极进入阳极区域，进而控制撞向显示屏的电子的数量，即打向显示屏的电子束的强弱；阳极实现对电子束的加速，确保电子束有足够的动能，以提高显示屏的显示亮度；聚焦极用于对电子束进行聚焦，把原来初速度不等、方向不尽相同的电子聚焦成很细的一个电子束，以便打到显示屏上能形成一个很小的亮点，保证较高的显示清晰

度。在电子枪后面增加偏转电极便构成示波管、电视显像管、雷达指示管等。

偏转控制装置，是指套在阴极射线管尾部的偏转线圈，用于控制电子束沿着水平和垂直两个方向的运动轨迹，以便准确地控制一束电子能打到显示屏幕上的任何一个位置，这是在显示屏幕上全屏显示信息所必须实现的控制功能。

想想练练

1. 如图 6-17 所示，质量为 m ，带正电荷 q 的粒子，在电场力的作用下，由静止开始从正极板向负极板运动的过程中：

- (1) 电场力对它做的功为_____。
- (2) 带电粒子到达负极板速率为 v ，它的动能为_____。
- (3) 根据动能定理可知， $\frac{1}{2}mv^2 = qU$ ，可解出速率_____。

2. 如图 6-18 所示，带电粒子沿中线进入板间的匀强电场，不计粒子的重力。

(1) 求偏转的距离 y ：竖直方向做_____，加速度 $a=F/m= qU/md$ 。射出电场时竖直偏移的距离 $y = at^2/2$ ，其中 t 为飞行时间。水平方向做_____运动，求得 $t = l/v_0$ ，将 a 和 t 代入 $y = at^2/2$ ，得 $y =$ _____。

(2) 求偏转角度为 θ ：离开电场时竖直方向的分速度 $v_{\perp} = at =$ _____， $\tan \theta = \frac{v_{\perp}}{v_0} =$ _____。

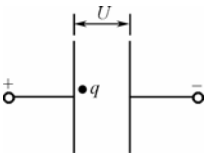


图 6-17 第 1 题图

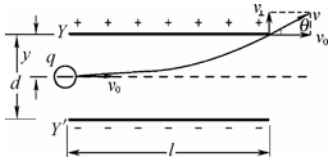


图 6-18 第 2 题图

6.4★ 电容器 电容

目标要求

知道电容器电容的定义，会计算真空中平行板电容器的电容，了解常用的电容器。

照相时，如果光线不足就要使用闪光灯。闪光灯能发出瞬时强光的奥秘是什么呢？

电容器

电容器是一种重要的电学元件，在电子技术和电工技术中有着广泛的应用。两个彼此绝缘而又相互靠近的导体都可以构成一个电容器（如图 6-19 所示）。这两个导体称为电容器的两个极板，两极板间的绝缘物质叫电介质。

为什么把这样的装置叫电容器呢？因为它能储存电荷。如图 6-20 (a) 所示，把电容器的两极分别与电源的正、负极相连，两个极板就会带上等量异种电荷，这个过程叫做充

电。通过灵敏电流计可以观察到短暂的充电电流。电容器的一个极板所带电荷量的绝对值叫做电容器的带电量。充电后，切断与电源的连接，两个极板上仍保存有电荷，两极板间就有电场存在。充电过程中把电源的电能储存在电场中，即转化为电场能。

如图 6-20 (b) 所示，如果把充电后的电容器的两极板接通，两极板上的电荷相互中和，电容器就不再带电，这个过程叫做**放电**。通过灵敏电流计可以观察到短暂的放电电流。放电后，两极板间不再存在电场，电场能转化为其他形式的能。

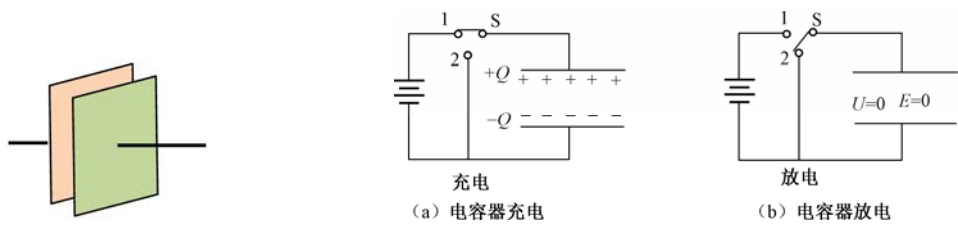


图 6-19 电容器结构

图 6-20 电容器充、放电

电容器是照相机闪光电路的重要组成部分。照相时，启动闪光灯，充电后的电容器能在一瞬时通过闪光电路将其储存的电能量释放出来，因而闪光灯能发出强光。

电容

电容器充电后，两极板间就有了电势差。对于任何电容器，这个电势差都随极板所带电荷量的增加而增加。实验表明，电容器的带电量 Q 与电容器两极板间的电势差 U 成正比，比值 $\frac{Q}{U}$ 是一个常量。不同的电容器，这个比值一般是不同的。在电势差 U 相同的情况下，比值大的电容器所带的电荷多，因此这个比值反映了电容器储存电荷能力的大小。

电容器所带的电量 Q 与电容器两极板间的电势差 U 的比值叫做电容器的电容，用 C 表示电容，则有

$$C = \frac{Q}{U}$$

在国际单位制中，电容的单位是**法拉**，简称**法**，符号是 F 。法拉是一个很大的单位，常用的较小单位有微法 (μF) 和皮法 (pF)，它们之间的关系是

$$1\text{ F}=10^6\text{ }\mu\text{F}=10^{12}\text{ pF}$$

实验探究

用小灯泡显示电容器的充电和放电过程。连接如图 6-21 所示的电路。电容器的规格均为 $1000\text{ }\mu\text{F}/25\text{ V}$ ，电池电压为 6 V ，小灯泡均为 2.5 V ，采用单刀双掷开关。当开关拨向触头 1 时，电容器充电；当开关拨向触头 2 时，电容器放电。充电和放电的瞬间，小灯泡都闪一下。充、放电结束，小灯泡熄灭。

通过两个支路小灯泡的亮度，还可以比较电容器并联和串联时的充、放电情况。

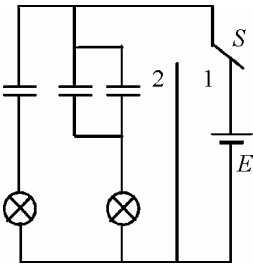


图 6-21 用小灯泡显示电容器的充、放电过程

平行板电容器的电容

现在我们来研究平行板电容器的电容与哪些因素有关。

实验探究

如图 6-22 所示，用静电计测量已充电的平行板电容器两极板间的电势差 U ，保持极板上的电量 Q 不变，分别改变两极板的正对面积 S 和两极板间的距离 d ，可以看到： S 越大，静电计指出的电势差 U 越小，表示电容越大； d 越小，静电计指出的电势差 U 越小，表示电容越大。

保持 Q ， d ， S 都不变，在两极板中间插入电介质，可以看到，静电计指出的电势差 U 减小，这表示平行板电容器的电容由于插入电介质而增大。电容器极板间充满电介质时电容增大的倍数，叫做电介质的介电常数，用 ϵ 来表示。



图 6-22 用静电计测量电势差 U

理论和实验表明，当极板间为真空时，其平行板电容器的电容与极板的正对面积 S 成正比，与极板间的距离 d 成反比。

$$C_0 = \frac{S}{4\pi kd}$$

式中 k 为静电力常量。

若在两极板间充以介电常数为 ϵ 的电介质，则该电容器的电容值将是真空时的 ϵ 倍。所以

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$$

式中， S 的单位是 m^2 ， d 的单位是 m ， C 的单位是 F 。

电容是电容器的固有特性，与电容器是否带电无关。当电容器两极板间的正对面积、极板间的距离或极板间的电介质发生变化时，它的电容才会改变。几种常见电介质的介电常数如表 6-1 所示。

表 6-1 几种电介质的介电常数

几种电介质的介电常数					
电介质	空气	石蜡	陶瓷	玻璃	云母
介电常数	1.0005	2.0~2.1	6	4~11	6~8

常用电容器

电容器的种类很多,根据电容是否可变来分,有固定电容器和可变电容器两类;根据电介质的成分来分,有云母电容器、陶瓷电容器、涤纶电容器和电解电容器等。几种常见的电容器及符号如图 6-23 所示。

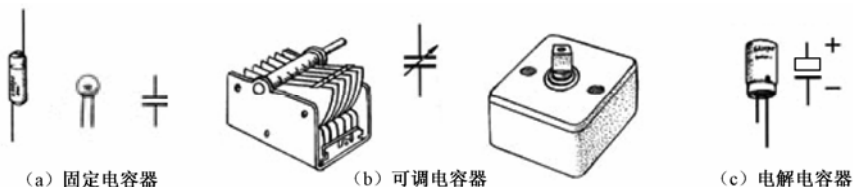


图 6-23 几种常见的电容器及其符号

固定电容器的电容是固定不变的。用绝缘纸、云母、陶瓷、涤纶作为电介质制成的电容器,都是固定电容器;电解电容器也是一种固定电容器,其电介质是很薄的氧化铝膜。这种电容器的电容量可以设计得很大。电解电容器是有极性的,正、负极不能反接。

可变电容器由动片和定片两组金属片组成,通常以空气作为电介质。转动动片,两组金属片的正对面积变化,电容也就随之改变。

加在电容器两极上的电压,不能超过某一限度,超过这个限度,电容器就会损坏,这个电压叫做**击穿电压**。电容器长期有效工作的最大电压叫做**额定电压**。电容器上一般都会标明电容和额定电压的数值。

例题 一个电容器带电荷 $9.0 \times 10^{-6} \text{ C}$, 测得两极间电势差为 $1.0 \times 10^2 \text{ V}$ 。求它的电容是多大? 如果此电容器的额定电压为 450 V , 那么, 它最多允许带多少电荷?

解 本题已知 $Q_1 = 9.0 \times 10^{-6} \text{ C}$, $U_1 = 1.0 \times 10^2 \text{ V}$, $U_2 = 450 \text{ V}$ 。由 $C = Q/U$ 得电容器的电容

$$C = \frac{Q_1}{U_1} = \frac{9.0 \times 10^{-6}}{1.0 \times 10^2} \text{ F} = 9.0 \times 10^{-8} \text{ F}$$

已知电容器的电容, 根据额定电压 $U_2 = 450 \text{ V}$, 可得电容器所带电荷

$$Q_2 = CU_2 = 9.0 \times 10^{-8} \times 450 \text{ C} = 4.1 \times 10^{-5} \text{ C}$$

想想练练

1. 电容器在使用中两个最重要的指标是什么?
2. 可变电容器电容是怎样改变电容的? 电解电容器在使用中要注意些什么问题?
3. 一个电容器的电容是 $1.5 \times 10^{-2} \mu\text{F}$, 要使两极板间的电势差为 90 V , 需要给极板带多少电荷?
4. 一平行板电容器的两极板相距 4.0 cm , 已知它所带的电量为 $5.0 \times 10^{-8} \text{ C}$, 极板间的电场强度为 $2.0 \times 10^4 \text{ N/C}$, 求它的电容。

身边的电容

你知道吗？不只是电容器中才有电容，实际上任何两导体之间都存在着电容。例如两根传输线之间，每根传输线与大地之间都是被空气介质隔开的，所以也都存在着电容。一般情况下，这个电容值很小，它的作用可以忽略不计。如果传输线很长或所传输的信号频率很高时，就必须考虑这一电容的作用。另外，在电子仪器中导线和仪器的金属外壳之间也存在电容。上述这些电容通常叫做分布电容。虽然它的数值很小，但有时却会给传输线路或仪器设备的正常工作带来干扰。

6.5★ 静电的应用与防止

目标要求

理解静电感应和静电屏蔽的概念，了解静电的利用与防止。

静电与我们日常生活“形影相随”：用塑料梳子梳理头发时梳子会吸引头发，甚至会听到响声；脱下尼龙服饰时有时也会听到响声，在黑暗中还能看到火花，这都是因摩擦产生的静电的现象。静电的存在有利也有害。对于有利一面，我们应加以利用；对于不利的一面，我们应尽量避免和防止。

静电感应

在一般情况下，导体中含有等量的正、负电荷，对外不显电性。如果把金属导体放在外电场 E 中，由于导体内的自由电子受电场力作用而定向移动，使导体的两端出现等量的异种电荷。这种现象叫做**静电感应**，所带的电荷叫做**感应电荷**。

图 6-24 (a) 是把带正电的球 C 移近导体 A ，可以看到 A 、 B 上的金属箔都张开了，这表示 A 、 B 都带上了电荷。研究表明：离球 C 近的导体 A 上带负电荷，离球 C 远的导体 B 上带正电荷。

如果先把 A 和 B 分开，然后移去 C ，可以看到 A 和 B 仍带有电荷，如图 6-24 (b) 所示。如果再让 A 和 B 接触，它们就不再带电了，这说明 A 和 B 分开后所带的异种电荷是等量的，重新接触后，等量的异种电荷发生了中和。



图 6-24 静电感应

生活中的静电感应现象

①水怎么转弯了？

取一与毛衣摩擦后的塑料片或梳子靠近水流，观察水流的方向是否会受到影响？

塑料片经摩擦后感应带电，它在水流附近形成电场（生活中的水通常含有电解质可以导电），水流发生静电感应——靠近塑料片的一侧与塑料片所带异性电荷相互吸引，导致水流变向（图 6-25）。



图 6-25 水会转弯

②雷电的发生也与静电感应有密切的关系。

在云层之间，由于空气的对流产生摩擦，使云层带电。当带电的云往下移动接近地面时，地面产生感应电荷。这些感应电荷容易通过地面上高耸突出物的顶端表面，例如山巅、大树、高塔等，被释放至空气中，这种现象称为尖端放电。其结果导致大量的正、负电荷急剧地中和，形成闪电；同时产生巨大的热能，使空气急速加热膨胀，造成雷声。带有异性电荷的云层相遇时，也会产生闪电（图 6-26）。



图 6-26 雷电

静电屏蔽

在生产和科研中，电磁仪表常会因外界电场干扰而无法正常工作，如图 6-27（a）所示。针对这一类现象，人们常采用静电屏蔽的方法，把这些设备置于接地的封闭（或近似封闭）金属罩中，就可以避免外界静电场对设备的影响，同时也可避免设备产生的静电场对外界的影响，如图 6-27（b）所示。为了保证通信质量，一般要在电缆外表多加一层金属丝织网套，这就是屏蔽电缆，如图 6-27（c）所示。

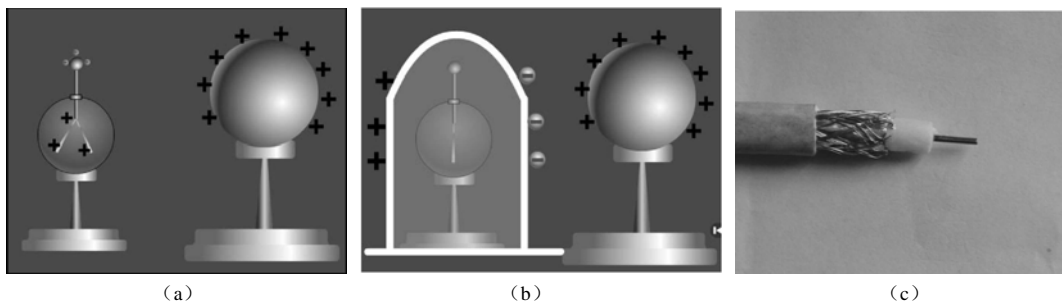


图 6-27 静电屏蔽

静电的应用

静电的应用，如静电除尘、静电喷漆、静电植绒、静电复印等，它们的物理原理几乎都是让带电的物质微粒在电场力作用下运动并吸附到电极上。

静电除尘 图 6-28 所示为一个静电除尘装置。除尘器的金属外壳 A 接在高压电源正极

上，壳内悬吊在绝缘子上的金属线 *B* 和电源负极相接，它们之间有很强的电场。距 *B* 越近，场强越大。*B* 附近空气中的分子被强电场电离，成为电子和正离子。正离子被吸引到 *B* 上，又成为分子。电子在向正极 *A* 运动的过程中遇到从进气口 *C* 进入除尘器的粒状废物，并使其带负电荷，被吸附到正极 *A* 上，然后在重力作用下落于壳底槽内。

静电喷漆 静电喷漆也是利用了同种电荷相排斥、异种电荷相吸引的原理进行工作的。静电喷漆的工作原理是：如图 6-29 所示，将喷枪和待喷漆工件分别接于高压直流电源的两极，从喷枪喷出的漆便带上了一种电荷，由于同种电荷相斥的作用，形成了大团的雾状漆；这些带电的细小漆珠在电场力的作用下非常准确地向带有另一种电荷的工件奔去，牢固地黏附在工件表面，完成喷漆。静电喷漆不但提高了喷漆质量，而且减少了对人体的危害，它已被广泛应用于仪表、家电等表面处理中。

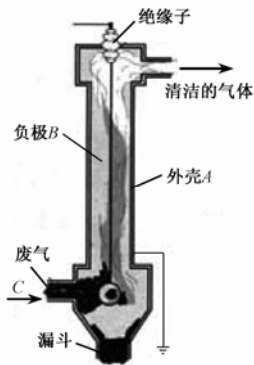


图 6-28 静电除尘装置

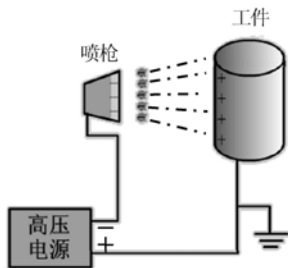


图 6-29 静电喷漆

利用类似的方法，可以使带电的绒毛植在涂有黏着剂的纺织物上，形成像刺绣似的图案，这就是静电植绒。

静电复印 静电复印机的中心部件是硒鼓。硒鼓在没有光照射时，是很好的绝缘体，能保持电荷；受光照射时，立刻变成导体，所带电荷由接地线导走。硒鼓每转一周，依次经过充电、曝光、显影、转印几个步骤。

- （1）充电：电源使硒鼓表面带上正电荷。
- （2）曝光：在光学系统和硒鼓之间放入原稿，光线透过原稿照射硒鼓。由于光线不能穿过原稿图文，硒鼓在这些区域内仍保持着正电荷，而其他地方因受到光的照射，正电荷被导走。这样，硒鼓上就留下了图文的“静电潜像”，如图 6-30 所示。
- （3）显影：带负电的墨粉被带正电的“静电潜像”吸引，吸附在潜像上，显出墨粉组成的图文，如图 6-31 所示。



图 6-30 曝光

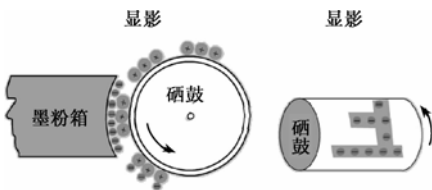


图 6-31 显影

- （4）转印：带正电的转印电极使输纸机构送来的纸带正电，带正电的纸与硒鼓表面墨

粉组成的图文接触，将带负电的墨粉吸附到纸上，形成牢固的图文印迹，如图 6-32 所示。

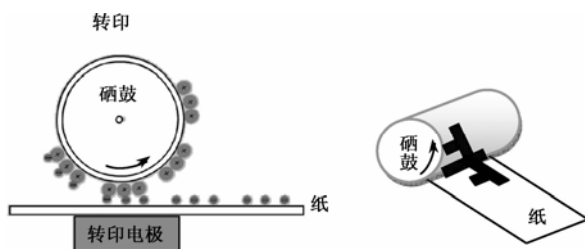


图 6-32 转印

静电的避防

静电的危害 静电在造福人类的同时，又常常给人类带来麻烦，甚至造成危害。

运输燃油的专用汽车，在装油和运输过程中，燃油与油罐摩擦、撞击而带静电，如果不及时释放，电荷积累到一定程度，就会产生电火花而引起爆炸；在空中飞行的飞机，与空气摩擦而带的电荷如果在着陆过程中不及时释放，当地勤人员接近机身时，人与飞机之间就可能产生火花放电，甚至将人击倒。

在印染厂里，棉纱、毛线、人造纤维上的静电，会吸引空气中的尘埃，使印染质量下降；在地毯上行走的人，与地毯摩擦而带静电，如果电荷足够多，当他伸手去拉金属门把手时，手与金属把手之间会产生火花放电。

防静电危害的基本方法 用良导体把容易产生静电的部件良好接地，是一种简单易行而可靠的防静电危害的方法。例如，油罐车、飞机利用导体与大地接触，导走静电；在地毯中夹有不锈钢丝导电纤维，以便及时消除静电；增大湿度，使电荷随时放出，避免静电积累，从而消除静电危害。

实验探究

“动物”舞会

将一块玻璃洗净、晾干，用书将其两端垫起，高度约为 2 cm。在纸上画小鸡、鱼、羊等小动物，涂上颜色，剪成 4~5 cm 见方的小纸片，放在玻璃下面，动物舞会就可以开始了。用硬泡沫塑料往玻璃上面一擦，就会看到小动物在玻璃下面翩翩起舞。用打火机在玻璃上面烤一下，动物就会跳得更加欢快了；要是往玻璃上哈一口气，动物就不会那么活跃了；如果在玻璃上压一根导线接地，即使你使劲用硬泡沫塑料擦玻璃，动物也不会跳舞了。

想想看，产生这些现象的原因是什么？

雷电常常会造成巨大的自然灾害，为了避免雷电的危害，通常使用避雷针。

避雷针的尖端安装在建筑物的顶部，并通过金属线与埋在地下的金属板相连，如图 6-33 所示。遇到雷雨时，云层上的大量静电由避雷针直接导入地下；同时避雷针的尖端向空中放电，也中和了云层中的部分电荷，这样就避免了建筑物遭受雷击。

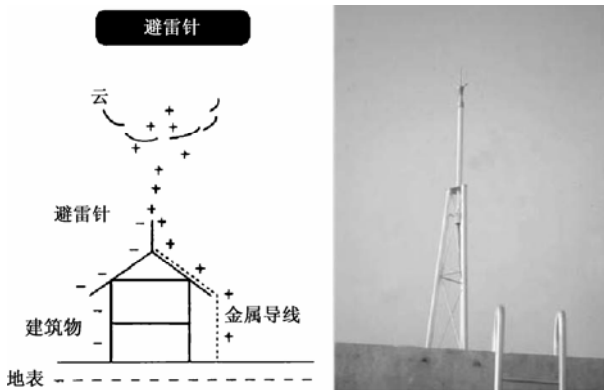


图 6-33 避雷针

社会调研

观察建筑物顶上的避雷针，了解避雷针防止建筑物遭雷击的原理；收集资料，了解通信电缆、电子仪器、高压设备静电屏蔽的方法。

想想练练

1. 防止静电危害的基本方法是什么？举出几个实际例子。
2. 静电在生产和生活中有许多应用，举出几个实例，考察它们是如何工作的。
3. 为什么运输易燃物质的车辆都在地上拖有金属链条？根据静电屏蔽的知识，住在钢架建筑物中的人，在雷雨期间是否比住在木质框架的房子里安全得多，或者相反？请解释原因。

本章小结

本章主要讲述了电场的描述与性质，进而研究了带电粒子在电场中的运动及其应用。

1. 点电荷、电场、电场强度、电场线、电势能、电势、电势差的概念。

2. 电场性质

(1) 电场力的性质：电场强度 $E = \frac{F}{q}$ 。

(2) 电场能的性质：电势能，电势 $\varphi = \frac{E_p}{q}$ ，电势差 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = -U_{BA}$ 。

(3) 匀强电场中电势差和电场强度的关系 $U = Ed$ 或 $E = \frac{U}{d}$ 。

3. 有关应用

(1) 带电粒子在电场中的加速与偏转，电子射线管原理。

(2) 电容及其定义 $C = \frac{Q}{U}$ ，平行板电容器的电容 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ 。

(3) 静电感应，静电屏蔽与应用。

第7章 直流电路



通过第 6 章对静电场的研究，我们不仅获得了许多关于电现象的知识，而且形成了若干重要的电学概念和研究方法，奠定了电学理论的重要基础。

无论在自然界，还是在生产和生活领域，更广泛存在着的是电荷流动所引起的效应。那么，电荷为什么会流动？电荷流动服从什么规律，产生什么效应？这些效应对人们的生产、生活方式和社会进步又起着怎样的作用呢？让我们先来学习直流电路的有关知识吧！

7.1 电阻定律

目标要求

了解电流产生的条件；理解电流、电阻的概念；掌握部分电路欧姆定律；了解伏安法测电阻的方法；掌握电阻定律及其应用。

电流的形成

电荷的定向移动形成**电流**。要形成电流，必须有能够自由移动的电荷——自由电荷，它们可以是电子、质子、正离子或负离子。在什么条件下，自由电荷才能发生定向移动呢？

导体两端有**电压**，是导体形成电流的条件。

如图 7-1 所示，如果把金属导体一端接在带正电的物体 A 上，另一端接在带负电的物体 B 上，那么导体内就建立了电场。由于 A 端电势高， B 端电势低，导体两端有了电压，这时自由电子便会在电场力的作用下作定向移动而形成电流。

在导体内做定向运动的可能是正电荷，也可能是负电荷，还可能是正、负电荷同时沿相反方向移动。我们规定，**正电荷的定向移动方向为电流方向**。由此可知，在金属导体中，电流的方向与自由电子定向移动的方向相反，如图 7-2 所示。

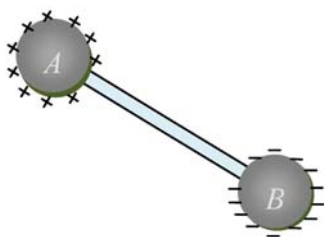


图 7-1 研究电流的形成

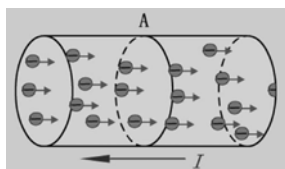


图 7-2 电荷定向移动

电流强度

电流的强弱用“**电流强度**”这个物理量表示。**单位时间内通过导体横截面的电量多少叫做电流强度**。简称**电流**。如果在一段时间 t 内，通过某一横截面的电量为 q ，则通过该截面的电流 I 为

$$I = \frac{q}{t}$$

在国际单位制中，电流的单位是**安培**，简称**安**，符号是 A 。电流的常用单位还有毫安 (mA) 和微安 (μA)。

$$1\text{ mA} = 1 \times 10^{-3}\text{ A}, \quad 1\text{ }\mu\text{A} = 1 \times 10^{-6}\text{ A}$$

常见用电器中的电流强度如表 7-1 所示。

表 7-1 常见用电器中的电流强度

常见用电器	电 流	常见用电器	电 流
电子手表	1.5~2 μA	电冰箱	1.0 A
电子计算器	150 μA	微波炉	3~4 A
移动电话	15~400 mA	电饭煲	3~5 A
日光灯	0.20 A	柜式空调	10 A

方向不随时间改变的电流叫做直流电流。



想一想

小刚认为，电路接通后，自由电子从电源出发，在金属导线中定向运动，到达用电器那里才有电流。小军说不对。只要电路一接通，电灯立刻就会亮起来，电子的移动没有那么快。你知道电流是怎样传导的吗？

部分电路欧姆定律

既然在导体的两端加上电压，导体中才有电流，那么，导体中的电流与电压有什么关系呢？

德国物理学家欧姆（1787—1854）在大量实验事实的基础上，总结得出结论：通过导体的电流 I 与导体两端的电压 U 成正比，即 $I \propto U$ 。把这个关系写成

$$I = \frac{U}{R}$$

电阻 实验表明，对于同一导体，无论电压、电流如何变化，比值 R ($R=U/I$) 不变；对于不同导体，比值 R 一般是不同的。 R 是一个与导体本身有关的量。电压一定时， R 越大，电流越小。可见，比值 R 反映了导体对电流的阻碍作用，叫做导体的电阻。

部分电路的欧姆定律 有了电阻的概念，就可以把公式 $I = \frac{U}{R}$ 表述为：导体的电流 I 与导体两端的电压 U 成正比，与导体的电阻 R 成反比。这就是**部分电路欧姆定律**。

电阻的单位是**欧姆**，简称**欧**，符号是 Ω 。常用单位还有千欧（ $k\Omega$ ），和兆欧（ $M\Omega$ ）。

$$1\text{ k}\Omega = 1 \times 10^3 \Omega$$

$$1\text{ M}\Omega = 1 \times 10^6 \Omega$$

电阻的测量 根据欧姆定律 $I=U/R$ ，用电压表测出电阻两端的电压，用电流表测出通过电阻的电流，就可求出电阻。这种测量电阻的方法简称**伏安法**。

用伏安法测电阻，有两种接法。如图 7-3（a）所示的接法为**外接法**，如图 7-3（b）所示的接法为**内接法**。

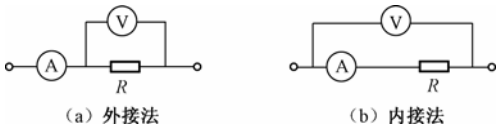


图 7-3 测量电阻

由于电压表和电流表本身都有电阻，所以当它们接入电路后不可避免地会产生测量误差。

(1) 当用外接法测电阻 R 时，由于电压表的分流，使得通过电流表的电流 I_A _____ I_R 。因此， $R_{\text{测}}$ _____ $R_{\text{真}}$ 。只有当 R _____ R_V (电压表内阻) 时， $I_A \approx I_R$ ，测量结果才比较准确。因此，外接法适用于测量阻值 _____ 电阻。此外，为了减小误差，应尽可能选用内阻 _____ 的电压表。

(2) 当用内接法测量电阻 R 时，由于电流表的分压，使得电压表的读数 U_V _____ U_R ，因此， $R_{\text{测}}$ _____ $R_{\text{真}}$ 。只有当 R _____ R_A (电流表内阻) 时， $U_V \approx U_R$ ，测量结果才比较准确。因此，内接法适用于测量阻值 _____ 的电阻。此外，为了减小误差，应尽可能选用内阻 _____ 的电流表。

电阻定律

导体的电阻由导体本身的物理因素决定。同种材料做的一样粗的导线(横截面积相同)，长度越大，电阻越大，这说明导体的电阻与它的长度成正比。同种材料、相同长度的导线，横截面积越大，电阻越小，这说明导体的电阻跟它的横截面积成反比。此外，导体的电阻还跟材料有关。

在温度不变时，导体的电阻 R 与它的长度 l 成正比，与它的横截面积 S 成反比，这就是电阻定律。可以表示为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中， ρ 叫做电阻率，它是与导体材料有关的物理量，反映了材料导电性的高低。 R ， l ， S 的单位分别是 Ω ， m ， m^2 ， ρ 的单位是欧姆米，符号是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

表 7-2 所示为几种材料在 20°C 时的电阻率。

表 7-2 几种常见材料的电阻率 (20°C)

材 料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	材 料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$
银	1.6×10^{-8}	镍铜合金	5.0×10^{-7}
铜	1.7×10^{-8}	镍铬合金	1.0×10^{-6}
铝	2.9×10^{-8}	碳	3.5×10^{-5}
钨	5.3×10^{-8}	硅	3.0×10^4
铁	1.0×10^{-7}	硬质陶瓷	$1 \times 10^{12} \sim 1 \times 10^{13}$
锰铜合金	4.4×10^{-7}	橡胶	$1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16}$

从表中可以看出，纯金属的电阻率很小，它们适合于做导体；硬质陶瓷、橡胶的电阻率很大，它们适合于做绝缘体。

例题 一条铜导线长 $l = 222\text{m}$ ，横截面积是 $S = 12.56\text{mm}^2$ 。这段铜导线的电阻是多大？如果这段铜导线的电阻控制在 0.10Ω 以内，那么导线的横截面积至少应为多少？

解 已知条件 $S=12.56\text{ mm}^2=12.56\times 10^{-6}\text{ m}^2$ ，查得铜的电阻率为 $\rho=1.7\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$ ，根据电阻定律得

$$R=\rho\frac{l}{S}=1.7\times 10^{-8}\times\frac{222}{12.56\times 10^{-6}}\Omega\approx 0.30\Omega$$

若需将导线电阻控制在 $R'=0.10\Omega$ 以内，在导线长度不变的情况下，需改变其横截面积，设改变后的横截面积为 S ，由

$$\frac{R}{R'}=\frac{S'}{S}$$

得

$$S'=\frac{R}{R'}S=\frac{0.30}{0.10}\times 12.56\text{mm}^2\approx 38\text{mm}^2$$

即导线的横截面积至少为 38mm^2 。

做一做

取一段镀锌铁丝（直径约为 0.30mm ），绕成一个螺旋线管，与一个 3.8V 的小灯泡串联后接到 $3\sim 4$ 节电池上，使小灯泡正常发光。用酒精灯给铁丝加热，观察小灯泡的亮度有何变化；移开酒精灯，再观察小灯泡的亮度有何变化。这说明了什么？

实践证明，导体的电阻还与温度有关，一般金属的电阻随温度的升高而增大。如 220V ， 40 W 的白炽灯，不通电时，灯丝电阻为 100Ω ；正常发光时，灯丝电阻高达 1210Ω 。

利用导体的电阻可以制成各种用途不同、阻值不同、形状不同的电阻器。电阻器是利用材料对电流产生阻碍作用的特性制造的电路元件，是电器设备中应用最多的元件之一。电阻的种类很多：按电阻阻值是否可调，可分为固定电阻（图 7-4）和可变电阻（图 7-5）；按构造，可分为绕线电阻和非绕线电阻；按材料，可分为碳膜电阻（图 7-6）、金属膜电阻、金属氧化膜电阻等。另外，还有许多特种电阻，如热敏电阻、压敏电阻、湿敏电阻、光敏电阻和磁敏电阻等，它们的电阻值分别对温度、压力、湿度、光照和磁场的变化特别敏感。



图 7-4 常见固定电阻外形

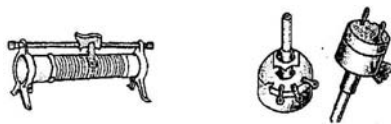


图 7-5 常见可变电阻外形

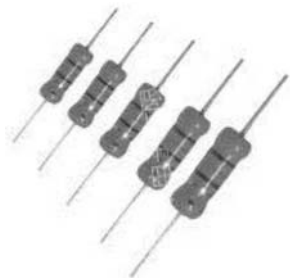


图 7-6 一种碳膜电阻（此图正在重新制作中）

想想练练

1. 形成持续电流的条件是什么？电流的方向是怎样规定的？
2. 人体的电阻最低只有 $600\ \Omega$ ，通过人体的电流如果不大于 $50\ \text{mA}$ ，就没有生命危险，人体的安全电压是多大？
3. 某位同学有这样的认识，由公式 $R=U/I$ 可知，在一段导体上所加的电压越大，这段导体的电阻就越大。这种认识正确吗？说明理由。
4. 叙述电阻定律的内容，写出计算电阻的公式。
5. 一卷铝导线， $l=100\ \text{m}$ ，导线的横截面积 $S=1\ \text{mm}^2$ 。这卷铝线的电阻是多大？

阅读材料

超导体

1911 年荷兰物理学家昂尼斯测量汞在低温下导电情况时发现，当温度低于 $4.2\ \text{K}$ 时，汞的电阻突然变为零，这就是超导现象。从那时起，科研工作者便开始研究超导体机理，并寻找更高转变温度的超导材料。

1930 年，人们发现银在 $9.2\ \text{K}$ 可变为超导体。1973 年人们又发现铝三锗的转变温度是 $23.3\ \text{K}$ 。虽然已发现许多金属及合金都具有超导现象，但直到 20 世纪 80 年代初，最高转变温度仍在 $23\ \text{K}$ 左右。产生这样的低温需要非常复杂的设备，所以在实用技术中应用超导现象非常困难。到 1992 年，已经研制出 70 多种超导氧化物，转变温度已达 $125\ \text{K}$ 左右，但对于实际应用来说，温度还是太低了。目前，各国科学家正在积极寻找常温下的超导体。

超导的应用非常广泛。在电子学方面的应用最有吸引力。如存储量大、运算速度快的大型计算机通常体积大、耗能多，且需要冷却系统，从而限制了它在实际中的应用。如用超导体来制作大型计算机的一些部件，则体积和能耗可大为减小，可使大型计算机与目前的个人计算机大小一样。

在电力工业中，超导的应用将会引起一场革命。用超导电纜输电，不但可以大大减少电能的损失，而且不需高压输电，用电更为安全，占用空间也非常小。

用超导材料制成的发电机和电动机的线圈，电流可以很大，可产生比常规磁体强几千倍的磁场。因此，同样功率的超导发电机和电动机的体积只有常规设备的几百分之一。

在铁路上运行的列车，可不用车轮，由超导线圈产生的强磁场可使列车悬浮在铁轨上（ $10\ \text{mm}$ ），这样列车与铁轨之间无摩擦，噪声小，速度快，可达 $550\ \text{km/h}$ ，与小型民航飞机的速度差不多。如果这种列车在真空的隧道中运行，速度可达 $1600\ \text{km/h}$ ，比超声速飞机还要快。

7.2 串联电路和并联电路

目标要求

理解串、并联电路的特点，会进行简单的分压电路和分流电路的计算；会应用电路知识分析和解决实际问题。

在直流电路中，电阻及用电器的基本连接方式有两种——串联和并联，如图 7-7 所示。本节我们将在初中基础上，进一步探究串联电路和并联电路的特点。

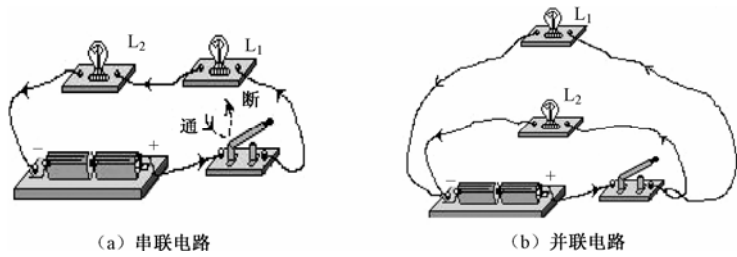


图 7-7 串联电路与并联电路

串联电路

我们知道，把几个导体依次首尾相连接入电路，这种连接方式叫做**串联**，如图 7-8 所示。在串联电路中，电流只有一条通路，所以流过 0，1，2，3 各点的电流相等，都等于总电流，即

$$I=I_1=I_2=I_3$$

因此，**串联电路各处的电流相等**。

在图 7-8 的串联电路中，如果以 U_1 ， U_2 ， U_3 ， U 分别表示 0 与 1、1 与 2、2 与 3、0 与 3 的电势差（电压），则有

$$U=U_1+U_2+U_3$$

即**串联电路两端的总电压等于各部分电路电压之和**。

从串联电路中电流和电压两个基本特点出发，可以推出串联电路的如下重要性质。

串联电路的总电阻 两个电阻 R_1 、 R_2 串联起来接到电路里，作为一个整体，它相当于一个电阻如图 7-9 所示。

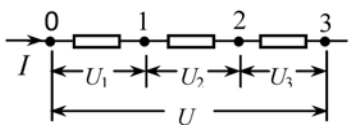


图 7-8 串联电路

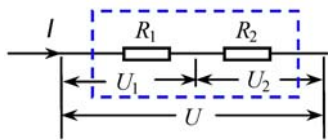


图 7-9 电阻串联

由于 R_1 和 R_2 是串联的，它们两端的总电压 U 等于两个电阻上的电压 U_1 、 U_2 之和，即

$$U=U_1+U_2$$

流过这两个电阻的电流 I 是一样的，上式两边同除以电流 I 得到

$$\frac{U}{I}=\frac{U_1}{I}+\frac{U_2}{I}$$

由欧姆定律，可得串联电阻为

$$R=R_1+R_2$$

如果有多个电阻串联，那么串联电阻应为

$$R_1 = R_1 + R_2 + \cdots$$

即串联电路的总电阻等于各部分电路电阻之和。

串联电路的分压作用 根据欧姆定律得

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} = \cdots = I$$

这就是说，串联电路中各个电阻两端的电压与它的电阻成正比，组成串联电路的某一个电阻越大，它从总电压中分到的电压就越大。

例题 1 一个量程为 $U_1=10\text{V}$ 的电压表，内阻 $R_1=5.0\text{k}\Omega$ ，要想把它的量程扩大到 $U_2=50\text{V}$ ，应怎样改装？

解 改装前电压表的量程仅为 10V ，如果拿它去测量超过 10V 的电压，电压表就会被烧坏。因此，根据串联分压的原理，可将原电压表串联一个电阻，使超出电压表量程的那部分电压由这个电阻承受，如图 7-10 所示。

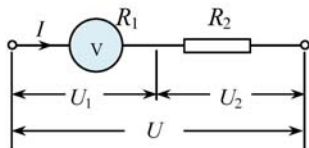


图 7-10 改装电压表的电路

电压表允许通过的最大电流

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10}{5.0 \times 10^3} \text{ A} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ A}$$

改装成 50V 的量程后， R_2 应承受的电压

$$U_2 = U - U_1 = (50 - 10) \text{ V} = 40 \text{ V}$$

所以

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{40}{2.0 \times 10^{-3}} \Omega = 2.0 \times 10^4 \Omega = 20 \text{ k}\Omega$$

把它的量程扩大到 50V ，应串联 $20 \text{ k}\Omega$ 的电阻。

从计算结果看出， R_1 与 R_2 的比值为 $1:4$ ，所以各自分得的电压 U_1 与 U_2 的比值是 $1:4$ 。由于 R_2 起到分压的作用，通常称为分压电阻。

并联电路

把几个电阻的一端连在一起，另一端也连在一起，然后把这两端接入电路，这种连接方式叫做**并联**，如图 7-11 所示。一般家用电器接入电路时，都是采用并联接法。

在如图 7-11 所示的并联电路中，有 3 个电阻并联，就有三条支路，这些支路都处在同一个电压之下，各支路电压都等于外加电压，即

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

因此，**并联电路的总电压与各支路两端电压相等。**

在如图 7-11 所示的并联电路中，流过于路 0 点的电流等于流入各支路 1、2、3 各点的电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

因此，**并联电路的总电流等于各支路电流之和。**

从并联电路中电流和电压两个基本特点出发，可以推出并联电路的如下重要性质。

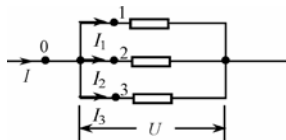


图 7-11 并联电路

并联电路的总电阻 两个电阻 R_1 、 R_2 并联起来接到电路里，作为一个整体，它相当于一个电阻，如图 7-12 所示。

由于 R_1 和 R_2 是并联的，它们的总电流 I 等于两个电阻上的电流 I_1 、 I_2 之和，即

$$I = I_1 + I_2$$

两个电阻上的电压 U 是相同的。把上式两边同除以 U ，得

$$\frac{I}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U}$$

由欧姆定律，可得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 或 } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

式中 R 表示并联电路的总电阻。

如果有多个电阻并联，那么

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

即并联电路总电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和。

并联电路的分流作用 根据欧姆定律，得

$$U = I_1 R_1, U = I_2 R_2, U = I_3 R_3$$

所以

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

这就是说，并联电路中各支路流过的电流与支路的阻值成反比。组成并联电路的支路电阻越小，流过该支路的电流就越大。

例题 2 一个量程为 $I_1=150\text{mA}$ ，内阻 $R_1=0.20\Omega$ 的电流表，若要把量程扩大到 450mA ，应如何改装？改装后的电流表总电阻是多少？

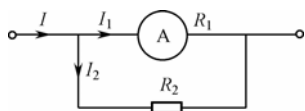


图 7-13 改装后的电流表

解 改装前，电流表的量程为 150 mA ，如果测量超过 150 mA 的电流，电流表就会因为电流过大而损坏。根据并联分流的原理，可在原电流表上并联一个电阻，使超出电流表量程的那部分电流从并联电阻中流过，从而确保原电流表流过的电流仍在 150mA 的范围内，如图 7-13 所示。

改装后 R_2 应分担的电流

$$I_2 = I - I_1 = (450 - 150)\text{mA} = 300\text{mA}$$

因为并联支路电压相等，即

$$I_1 R_1 = I_2 R_2$$

所以

$$R_2 = \frac{I_1}{I_2} R_1 = \frac{150}{300} \times 0.20\Omega = 0.10\Omega$$

改装后的总电阻

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0.20 \times 0.10}{0.20 + 0.10} \Omega = 0.067\Omega$$

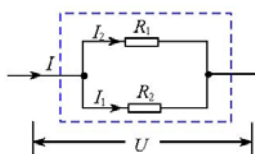


图 7-12 电阻并联

改装电流表可与原表头并联一个 $0.10\ \Omega$ 电阻。改装后电流表的总电阻为 $0.067\ \Omega$ 。

从计算可以看出, R_1 与 R_2 的比值为 $2:1$, 分配到 R_1 、 R_2 的电流分别为总电流的 $1/3$ 和 $2/3$ 。由于 R_2 起到分流的作用, 通常称为分流电阻。

想一想

节日里的小彩灯连成一串, 是串联, 你仔细观察就会发现, 当其中的一个小彩灯不亮时, 其余的照样亮, 这个电路的奥秘在哪里呢?

想想练练

1. 在串联电路和并联电路中, 总电压与各部分电路的电压、总电流与各部分电路的电流、总电阻与各部分电路的电阻有什么关系? 以两个电阻为例, 写出各自的计算公式。

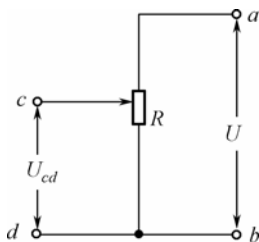


图 7-14 第 3 题图

2. 如图 7-14 所示的电路, 当 a 、 b 间的电压为 U 时, 利用它可以在 c 、 d 端获得 0 和 U 之间的任意电压。试说明其中的道理。

3. 一个电压表的量程为 $U_1=12\text{V}$, 内阻 $R_1=400\ \Omega$, 如果要把它的量程扩大到 $U_2=50\text{V}$, 需怎样连接电阻? 阻值为多大?

4. 一个电流表的量程为 $I_1=1\text{mA}$, 内阻 $R_1=0.40\ \Omega$, 若要把量程扩大到 10mA , 需怎样连接电阻? 阻值为多大?

7.3 电功 电功率

目标要求

了解电功、电功率的概念, 会估算常用电器的电功率; 理解焦耳定律, 能运用电功和电功率的公式和焦耳定律进行简单计算。

你注意过家里的电能表吗? 你知道它测量的是电流做的功吗? 电流不是力, 为什么也能做功呢? 如图 7-15 所示为家用电能表。通过本节的学习你就会有全新的认识。

电功

有电流通过时, 电炉会发热, 电灯会发光, 电动机会转动。这说明电流通过这些用电器, 将电能转换成了热能、光能和机械能。电流通过一段电路时, 电场力对自由电荷做了功。这个功也就是通常说的电流做的功, 简称电功。



图 7-15 电能表

如图 7-16 所示的一段电路中，负载（电灯、电炉、电动机等各种用电器）两端电压为 U ，通过的电流为 I ，在时间 t 内电流所做的功为

$$W = UI t$$

在国际单位制中，电功的单位为 J。

上式表明，**电流在一段电路上所做的功等于这段电路两端的电压 U 、电路中的电流 I 和通电时间 t 三者的乘积。**

电流做功的过程，实际上就是电能转化为其他形式的能的过程。电流通过电热丝做功，把电能转化为热能；电流通过电动机做功，把电能转化为机械能。有多少电能转换为其他形式的能，电流就做了多少功。电流做的功可以用电能表（俗称“火表”、“电表”）来计量。

电功率

电流做功的快慢用电功率表示。**电流在单位时间内所做的功称为电功率**，用 P 表示，即

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

上式表明，一段电路上的电功率 $P=UI$ 等于电路两端的电压 U 和电路中电流 I 的乘积。在国际单位制中，电功率的单位是**瓦特**，简称**瓦**，用 W 表示。常用单位还有千瓦(kW)。

$$1kW = 1 \times 10^3 W$$

用电器上通常所标示的电功率和电压，就是用电器的额定功率和额定电压。用电器只有处于额定电压时，才能达到额定功率。例如标有“220V、60W”的白炽灯泡，说明它在电压为 220V 时能正常发光，消耗的电功率是 60W。电源电压和额定电压相差过大，就有可能损坏用电器。因此，应尽可能使用电器在额定电压下工作。常见用电器的电功率如表 7-3 所示。

表 7-3 常见用电器的电功率(W)

常见用电器	电功率/W	常见用电器	电功率/W
收音机	0.06 ~ 0.4	洗衣机	500
日光灯	40	电吹风	600
电风扇	100	微波炉	1000
电视机	100 ~ 200	柜式空调	2000



社会调研

请同学们估算节能灯、热水器、电冰箱、电动车、抽油烟机 etc 电器的电功率；用家用电能表估算自己家一周家用电器消耗的电能是多少。

焦耳定律

当电流通过导体时，导体总要发热，电能转化为热能，这就是电流的热效应。英国物理学家焦耳（1818~1889）通过实验得出电流热效应的规律：**电流通过导体产生的热量与**

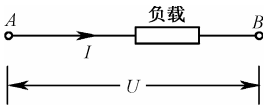


图 7-16 电路

电流强度的平方、导体的电阻和通电时间成正比，这个规律叫做焦耳定律。用公式表示为

$$Q = I^2 R t$$

公式中， Q 表示热量，常被叫做**焦耳热**或**电热**。在国际单位制中，电热单位为 J。

如果电路中只含有电阻，即所谓的纯电阻电路（如白炽灯、电炉、电热器等），则电流所做的功 $W = UIt$ 与电流产生的热量相等，此时电能全部转化为电路的热能，如图 7-17 所示。即

$$Q = W = UIt = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t$$

如果电路不是纯电阻电路，例如，含有电动机或电解槽等，那么电能一部分转化为热能，另一部分转化为机械能、化学能等其他形式的能。这时，电流所做的功仍用 $W = UIt$ 计算，但不等于产生的热量，电路产生的热量仍可以用 $Q = I^2 R t$ 计算（图 7-18）。

单位时间内发热的功率 $P_Q = Q/t$ 通常称为**热功率**，即 $P_Q = I^2 R$ 。

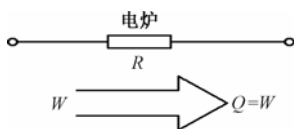


图 7-17 电能全部转化为热能

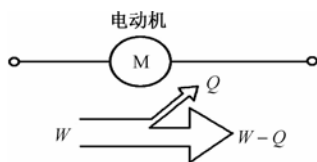


图 7-18 电能不等于热能

例题 一台电动机，额定电压为 $U=220\text{V}$ ，电阻 $R=0.4\Omega$ ，正常工作通过的电流 $I=50\text{A}$ 。

求：

- (1) 电动机消耗的电功率 P ；
- (2) 电动机产生的热功率 P_Q ；
- (3) 电动机工作 10 min ，消耗了多少电能？其中有多少电能转化为机械能，有多少电能转化为焦耳热？
- (4) 电动机的效率 η 。

解 (1) 负载是非纯电阻电路，电功率为

$$P = 220 \times 50 \text{ W} = 1.1 \times 10^4 \text{ W}$$

(2) 电动机产生的热功率为

$$P_Q = I^2 R = 50^2 \times 0.4 \text{ W} = 1.0 \times 10^3 \text{ W}$$

(3) 电动机工作 10 min ，消耗的电能（电功）

$$W_{\text{总}} = P t = 1.1 \times 10^4 \times 10 \times 60 \text{ J} = 6.6 \times 10^6 \text{ J}$$

其中转化为焦耳热的电能为

$$W_Q = P_Q t = 1.0 \times 10^3 \times 10 \times 60 \text{ J} = 6.0 \times 10^5 \text{ J}$$

转化为机械能的电能为

$$W = W_{\text{总}} - W_Q = (6.6 \times 10^6 - 6.0 \times 10^5) \text{ J} = 6.0 \times 10^6 \text{ J}$$

(4) 电动机的效率

$$\eta = \frac{W}{W_{\text{总}}} = \frac{6.0 \times 10^6}{6.6 \times 10^6} = 0.909 = 90.9\%$$

由本题的计算可知，电动机消耗电能，大部分转化为机械能，小部分转化为电动机线

圈电阻的焦耳热。

想一想

微型吸尘器的直流电动机的内阻一定，当加在它两端的电压为 0.3V 时，电流为 0.3A ，此时电动机不转动；当加在它两端的电压为 2.0V 时，电流为 0.8A ，且它能够正常工作，试分析当电动机正常工作时消耗的电功率及输出的机械功率。

想想练练

1. 什么是电功？什么是电功率？什么是用电器的额定电压和额定功率？什么是用电器实际消耗的功率？

2. 电功和电热有什么不同？什么情况下可用 $W=I^2Rt$ 计算电功？什么情况下电功大于电热？

3. 在纯电阻电路中，串联时，各个电阻消耗的功率与它的阻值成__比，并联时，各个电阻消耗的功率跟它的阻值成__比。

4. 输电线的电阻 $R=1.0\Omega$ ，电站的输出功率 $P=100\text{kW}$ 。求下述情况下输电线上发热损失的功率：

(1) 用 10kV 的电压输电；

(2) 用 400V 的电压输电。

阅读材料

高压输电

在输电线路中，焦耳热损耗正比于电流的平方，所以远距离输电时，需要用电力变压器把电压升高以减小电流。通常根据输电距离的远近可将电压升到 10kV 、 35kV 、 110kV 、 220kV 等，经高压线传送到使用地区后，再用降压变压器把电压降到几百伏，以保证用电安全。如图 7-19 所示为小型发电厂使用的三相高压输电变压器。



图 7-19 三相高压输电

7.4 全电路欧姆定律

目标要求

了解电源电动势的概念，掌握全电路欧姆定律及其计算，理解路端电压和负载的关系。

电源电动势

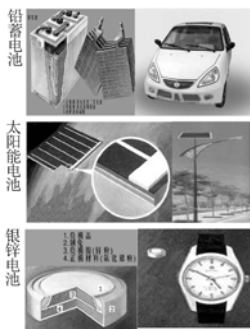


图 7-20 电池种类

电源 要形成持续的电流，电路两端就必须有恒定的电压，能起这种作用的装置叫做电源。干电池、蓄电池、发电机等都是电源。

电源有正、负两个极，正极的电势高，负极的电势低，两极间存在开路电压。不同的电源，两极间开路电压的大小不同。

电动势 反映电源做功本领大小的物理量，叫做电源的电动势。电源的电动势在数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压。电动势用符号 E 表示。电动势的单位与电压的单位相同，也是伏特（V）。例如干电池的电动势为 1.5V，蓄

电池的电动势为 2V，层叠电池的电动势为 9V。常见的电池还有如图 7-20 所示的几种。

全电路欧姆定律

包含电源在内的闭合电路，也叫做全电路。

外电路 内电路 全电路由两部分组成。如图 7-21 所示，一部分是电源外部的电路，叫做外电路，包括用电器和导线等；另一部分是电源内部的电路，叫做内电路，如发电机的线圈、电池内的溶液等。外电路的电阻常称为外电阻，用 R 表示；电源内部也有电阻，即电源内电阻，用 r 表示。

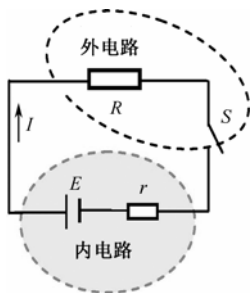


图 7-21 内、外电路

电源的电动势 E 与内阻 r 是反映电源本身性质的物理量，通常认为它们是不变的。合上开关 S ，电路中有电流通过，此时内外电路上就有电压。

外电路两端的电压叫做外电压，用 $U_{\text{外}}$ 表示

$$U_{\text{外}} = IR$$

电源中内电阻上也有电压，叫做内电压，用 $U_{\text{内}}$ 表示

$$U_{\text{内}} = Ir$$

全电路欧姆定律 在全电路中，电源电动势 E 等于外电压 $U_{\text{外}}$ 与内电压 $U_{\text{内}}$ 之和，用公式表示为 $E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ ，即

$$E = IR + Ir$$

所以

$$I = \frac{E}{R + r}$$

上式表明，全电路中的电流与电源的电动势成正比，与内外电路的电阻之和成反比，这个结论叫做全电路欧姆定律。

例题 1 在如图 7-22 所示的电路中， $R_1 = 14 \Omega$ ， $R_2 = 9 \Omega$ 。单刀双掷开关 S 掷于触点 1 时，测得的电流 $I_1 = 0.2 \text{ A}$ ；当 S 掷于触点 2 时，测得的电流 $I_2 = 0.3 \text{ A}$ 。求电源电动势 E 和内电阻 r 。

解 根据全电路欧姆定律，开关 S 掷于触点 1 时

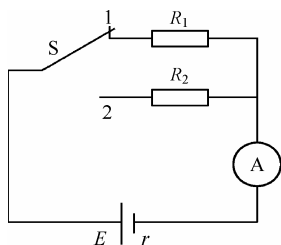


图 7-22 例题 1 电路

$$E=I_1R_1+I_1r$$

开关 S 掷于触点 2 时

$$E=I_2R_2+I_2r$$

消去 E , 得

$$I_1R_1+I_1r=I_2R_2+I_2r$$

所以
$$r = \frac{I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 - I_1}$$

代入已知条件得
$$r = \frac{0.2 \times 14 - 0.3 \times 9}{0.3 - 0.2} \Omega = 1.0 \Omega$$

$$E=I_1R_1+I_1r=0.2 \times 14 + 0.2 \times 1 \text{ V} = 3 \text{ V}$$

即电源的电动势是 3V, 内电阻是 1.0Ω 。

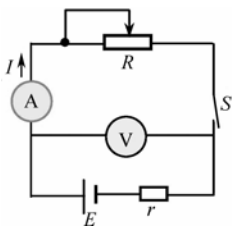


图 7-23 通路状态

电路的三种状态

通路状态 如图 7-23 所示, 开关 S 闭合, 有电流通过, 电路处于通路状态。由部分电路欧姆定律可知, $U=IR$, 根据全电路欧姆定律可得 $E=IR+Ir$, 可变为 $E=U+Ir$, 写成

$$\begin{aligned} U &= E - Ir \\ &= E - \frac{Er}{R+r} \end{aligned}$$

对于某一电源来说, E 和 r 是定值。因此, 上式表明, 路端电压 U 随着外电阻 R 的改变而改变。

当外电阻增大时, 路端电压也增大; 当外电阻减小时, 路端电压也减小。

社会调研

一些同学可能有这样的生活经验: 在家庭照明正常的情况下, 再插上电炉、电暖气等用电多的电器后, 灯光会变暗, 拔掉上述电器后灯光马上又重新明亮起来。在供电质量不太好的地区尤其是这样。请你观察用电高峰时电灯亮度的变化情况, 解释用电负荷增加时, 电灯变暗的原因。

开路状态 当外电路断开时, 电路处于开路状态。开路时, 外电阻 R 可认为无限大, 电流 I 为零, 内电压 Ir 也为零。由上面的公式可得

$$U = E$$

这就是说, 开路时的路端电压等于电源的电动势。

短路状态 当外电路电阻为零时, 称电路处于短路状态。

短路时, 外电阻 $R=0$, 所以 $U=IR=0$, 此时的电流称为短路电流。即

$$I_{\text{短路}} = \frac{E}{r}$$

通常由于电源内阻很小, 例如蓄电池的内阻只有 $0.005 \sim 0.1 \Omega$, 干电池的内阻通常也不到 1Ω , 所以短路电流很大。很大的短路电流不但会烧坏电源, 还有可能引起火灾。为

了防止事故的发生，在电力线路中必须安装保险装置。

实验探究

把电动势为 6V 的电源、标有“6V、3W”的灯泡连接成如图 7-24 所示的电路，在 A、B 之间接入额定电流为 1 A 的熔丝，接通开关 S，此时电路中的电流只有 0.5 A 左右，电路正常工作，灯泡正常发光。

接着断开开关 S，在 C、D 之间接入一条铜线造成短路，接通开关 S，熔丝很快烧断，因而切断电源。

事实是，前一种情况是电路处于正常情况下，熔丝相当于导线，后一种情况下电路是有故障的，熔丝起安全保护作用。

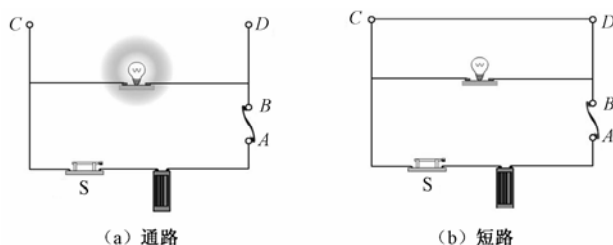


图 7-24 通路和短路

例题 2 已知电源电动势 $E=1.5\text{ V}$ ，内电阻 $r=0.20\ \Omega$ ，外电路电阻 $R=2.8\ \Omega$ 。求：电路中的电流、路端电压和短路电流。

解 由闭合电路欧姆定律和路端电压的公式得

$$\text{电流} \quad I = \frac{E}{R+r} = \frac{1.5}{2.8+0.20} = 0.50\text{ A}$$

$$\text{路端电压} \quad U = E - Ir = 1.5 - 0.50 \times 0.20 = 1.4\text{ V}$$

$$\text{短路电流} \quad I = \frac{E}{r} = \frac{1.5}{0.20} = 7.5\text{ A}$$

想想练练

1. 叙述全电路欧姆定律的内容，写出公式。
2. 路端电压随外电阻的变化怎样变化？在外电路分别为开路和短路的情况下，外电压和电流如何？
3. 一个电源接 $8\ \Omega$ 电阻时，通过电源的电流为 0.15 A ，接 $13\ \Omega$ 电阻时，通过电源的电流为 0.10 A ，求电源的电动势和内阻。
4. 一太阳能电池板，测得它的开路电压为 0.8 V ，短路电流为 0.04 A ，若将该电池板与一阻值为 $20\ \Omega$ 的电阻器连成一闭合电路，则它的路端电压是多少？

阅读材料

常见用电故障

电路在使用过程中会出现一些故障。故障的性质大致可分为线路故障和用电器故障两大类。故障的原因可分为短路、断路、漏电等。如果是简单故障，可以自己动手排除。在排除故障之前，一定要先把总闸刀开关或低压断路器断开，不能带电操作。

如果用电器一接上去熔丝就熔断，通常是短路，或者是负载过大的因素造成的。这时，必须查明短路原因并排除故障，然后才能换上同样的熔丝，绝对不能换用比原来粗的熔丝或者其他材料的金属丝。

如果熔丝、用电器都没有问题，而用电器不工作，则有可能是线路断路。一般情况是接线螺钉松脱、电线接头处接触不良、导线断裂等。如果故障出在干线上，就会造成所有用电器不能使用；如果故障出在分支线上，就会使该分支线路上的用电器不能使用。

在确认电源没有停电的情况下，可以使用测电笔逐段排查断路点。使用测电笔时要注意安全，手绝对不能接触笔尖的金属部分。

在用电过程中，有时会发现用电量比平时增加、建筑物带电、电线发热等漏电现象。电线或电器的绝缘层破裂、绝缘物老化，绝缘性能都会降低，从而引起漏电。完好的绝缘物在受潮、雨淋、水浸后，也会漏电。

发现漏电时，要仔细检查灯座、吊线盒、开关、插座等容易漏电处，再检查电线连接处、电线穿墙处、电线转弯处等电线绝缘层容易受损的部位。

7.5 安全用电

目标要求

了解人体触电的几种类型，知道触电的常见原因及防范措施；了解电气火灾发生的原因，能正确选择防范和扑救措施；了解用电安全的基本常识，知道电气安全技术操作规程。

电能的广泛应用，给人类的生产和生活带来了极大的方便，但是如果使用不当，就会危及人身安全和设备安全。因此，学习安全用电知识，认真执行各项安全技术规程是十分重要的。

人体触电的类型

单相触电 初中我们学过，在进入家庭的两条电源线（市压或照明用电）中，一条在户外是接地的，称为零线；另一条称为相线，俗称火线。

如图 7-25 所示，人体触及相线（或漏电的电气设备）而又不与大地绝缘时，人体承受 220V 电压，这就是单相触电。单相触电大多是由于电气设备损坏或绝缘不良，使带电部分裸露而引起的。触电事故中大部分属于单相触电。

两相触电 接入厂房或田野的电动机的电源线（动力用电），有三条相线。如图 7-26 所示，人体同时触及两根相线，作用于人体的是 380V 线电压，这就是两相触电，其危害

比单相触电更大。

跨步电压触电 在高压电网接地点或防雷接地点及高压火线断落或绝缘损坏处，有电流流入地下时，由触地点向外激发电场，并在接地点周围土壤中产生电势差。当人走进这一区域时，两脚之间形成跨步电压，其大小取决于线路电压及人体距电流入地点的远近，如图 7-27 所示。

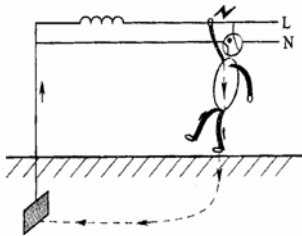


图 7-25 单相触电

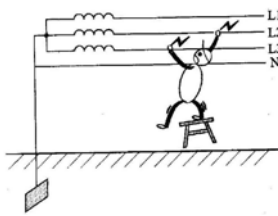


图 7-26 两相触电

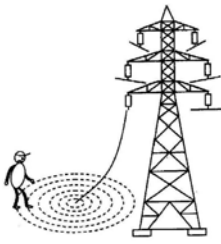


图 7-27 跨步电压触电

跨步电压所引起的触电事故，多数发生在接地装置周围或断线接地点周围，因此，接地装置周围要设置护栏；已受到跨步电压威胁者，应采取单脚或双脚并拢方式迅速跳出危险区域。

安全电压 电流对人体的伤害分为电击和电伤两类。电击是电流通过人体内部，对人体内脏及神经系统造成破坏；电伤是电流通过人体外部造成的局部伤害，如电弧烧伤、熔化的金属渗入皮肤等。触电过程中，电击和电伤往往会同时作用于触电者。

电流是危害人体的直接因素，通过人体的工频交流电流达到 10 mA 会使人感到麻痹或剧痛，难以摆脱电源；达到 30 mA 以上且持续时间超过 1s，就可能危及人的生命。触电时通过人体的电流取决于作用于人体的电压和人体的电阻。一般干燥皮肤的电阻约为 2kΩ，但如果皮肤潮湿或有损伤，电阻会急剧下降，只有 800 Ω 左右。电流在人体内持续的时间越长，人体电阻减小，电流增大，造成的伤害也更大。

电流通过头部、脊髓、心脏这些重要器官都是最危险的，人手和脚触电的可能性最大，电流从手到手、从手到脚、从脚到脚这三种路径对人都很危险，其中尤以从左手经前胸到脚、从一侧手到另一侧脚最危险，因为可能通过的重要器官最多。此外，触电者由于手、脚痉挛，无法摆脱电源，还可能导致电流通过全身或发生坠落、摔伤等二次事故。

加在人体上一定时间内不造成伤害的电压称为安全电压。通常规定交流 36V 以下及直流 48 V 以下为安全电压。一般要求在有较多触电危险的场合全部使用安全电压。例如：机床照明灯、小型手持电动工具、普通移动式照明灯具使用 36V 电压；在潮湿、高温、有导电尘埃的环境中使用 12 V 电压等。安全电压仅仅是为了一旦人员触电时，能将通过人体的电流限制在较小范围，绝不意味着人可以长时间接触这样的电压，那仍是危险的。

电气火灾的防范

电气火灾发生的原因 电气火灾是电气原因而引燃的事故，一般是电流热量、电火花、电弧等直接引起。

(1) 短路：电气设备发生短路故障时，一方面是电流急剧增加，短路电流比正常工作

电流大数 10 倍，甚至上百倍，产生大量的热量使电气设备的温度迅速上升，当温度达到绝缘材料的燃点时就会导致燃烧。另一方面在短路点不仅产生电火花、电弧，且温度更高可使金属熔化，导致附近的物体燃烧形成火灾。

(2) 过负荷：电气设备过负荷运行时，保护装置若不能及时动作切断电源，长期运行引起电气设备过度发热加速绝缘老化，当温度达到绝缘材料的易燃温度时引起火灾。

(3) 接触电阻过大：导线连接处是线路的薄弱环节，一方面接触电阻过大会发热，可使绝缘层损坏引起短路。另一方面接头接触不良会产生电火花，电弧直接引起火灾。

(4) 电热设备（电烙铁、电烫斗、电焊机等）使用不当，附近堆放易燃易爆物品，使用后忘记切断电源等均可形成火灾。

电气火灾的扑救措施

(1) 断电灭火

电气设备发生火灾或引燃周围可燃物时，首先应设法切断电源，必须注意以下事项：

①处于火灾区的电气设备因受潮或烟熏，绝缘能力降低，所以拉开开关断电时，要使用绝缘工具。②剪断电线时，不同相电线应错位剪断，防止线路发生短路。③应在电线支持点附近剪断电线，防止电源一侧的电线剪断后跌落在地上，造成电击或短路。④如果火势已威胁邻近电气设备时，应迅速拉开相应的开关。⑤夜间发生电气火灾，切断电源时，要考虑临时照明问题，以利于扑救。如需要供电部门切断电源时，应及时联系。

(2) 带电灭火

如果无法及时切断电源，而需要带电灭火时，要注意以下几点：

①应选用不导电的灭火器材灭火，如干粉、二氧化碳、1211 灭火器，不得使用泡沫灭火器带电灭火。②要保持人及所使用的导电消防器材与带电体之间的足够的安全距离，扑救人员应带绝缘手套。③对架空线路等空中设备进行灭火时，人与带电体之间的仰角不应超过 45° ，而且应站在线路外侧，防止电线断落后触及人体。如带电体已断落地面，应划出一定警戒区，以防跨步电压伤人。

(3) 充油电气设备灭火

①充油设备着火时，应立即切断电源，如外部局部着火时，可用二氧化碳、1211、干粉等灭火器材灭火。②如设备内部着火，且火势较大，切断电源后可用水灭火，备有事故储油池的应设法将油放入池中，再行扑救。

家庭安全用电

如图 7-28 所示，家庭电路主要由进入家庭的电源入户线、电能表、刀开关、熔断器、漏电保护器、开关、插座、用电器等组成，考虑到用电安全，一般还接有专用的保护零线，俗称地线。洗衣机、电冰箱等家用电器都使用三脚插头，如图 7-29 (a) 所示，金属外壳与插头的保护接地极相连。与之相对应，插座采用单相三孔插座，如图 7-29 (b) 所示，三孔插座的接线规定为“左零右火中接地”。

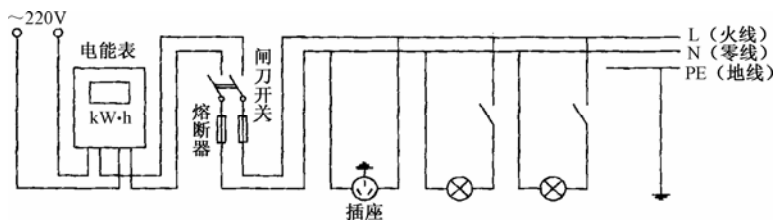


图 7-28 家庭配电示意图

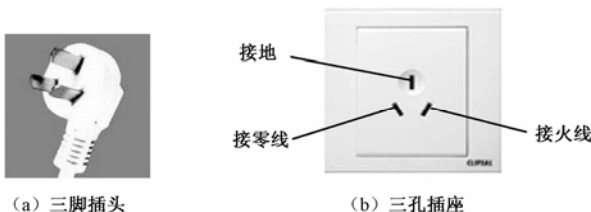


图 7-29 三脚插头与三孔插座

照明配电箱



图 7-30 照明 配电箱

照明配电箱又称小型断路器组合配电箱，如图 7-30 所示，通常作为家庭住宅的总配电设备，嵌装在进户门后墙壁上，用来方便地控制家庭电器设备的每一路电源，并兼有过流保护跳闸功能，有的还兼有漏电跳闸保护功能。

安全用电注意事项

- (1) 判断电线或用电设备是否带电，必须用试电器（或测电笔），绝不允许用手触摸。
 - (2) 在检修电气设备或更换熔体时，应切断电源，并在开关处设置“禁止合闸”的标志。
 - (3) 根据需选择熔断器的熔丝粗细，严禁用铜丝代替熔丝。
 - (4) 安装照明线路时，开关和插座离地一般不低于 1.3 m。不要用湿手去摸开关、插座、灯头等，也不要湿布去擦灯泡。
- 室内配线时禁止使用裸导线和绝缘破损的导线。塑料护套线直接装置在敷设面上时，必须用防锈的金属夹头或其他材料的夹头牢固装夹。塑料护套线连接处应加瓷接头或接线盒。严禁将塑料护套线或其他导线直接埋设在水泥或石灰粉刷层内。拆开的或断裂的裸露的带电接头，必须及时用绝缘物包好并放在人身不易接触到的地方。
- (5) 在电力线路附近，不要安装电视机的天线；不要放风筝和打鸟；更不能向电线、瓷瓶和变压器上扔物品。在带电设备周围严禁使用钢板尺、钢卷尺进行测量工作。
 - (6) 发现电线或电气设备起火，应迅速切断电源，在带电状态下，绝不能用水或泡沫灭火器灭火。
 - (7) 发生触电事故时，首先要使触电者迅速脱离电源。
- 触电者脱离电源后，要平躺在担架上送医救治。如果触电者已停止呼吸和心跳，应立即采用人工呼吸和人工心脏按摩等方法就地施救。

社会调研

结合本校、实习车间及自己家的用电情况，了解分别采用了哪些安全用电技术措施，是否存在不够完善的地方。应如何改进。

想想练练

1. 怎样预防电气火灾的发生？
2. 什么叫保护接地？在什么情况下适合采用保护接地的安全措施？
3. 安全用电应注意哪些事项？

7.6 实验 多用电表的使用

目标要求

能使用多用电表测量电阻、直流电流、直流电压和交流电压。

实验目的

学习多用电表的使用方法，能独立使用多用电表测量电阻、直流电流、直流电压和交流电压。

多用电表的使用说明

多用电表是一种多用途、多量程的电工测量仪表。常用的多用电表有指针式和数字式两大类，如图 7-31 所示。数字式多用电表读数直观，而指针式多用电表能方便快速地观察近似值或被测数值的变化情况。



图 7-31 多用电表

使用多用电表应注意以下几点：

(1) 多用电表使用前先要机械调零。按照多用电表的使用要求，垂直或水平放好多用电表。查看指针是否停在刻度线左端的“0”位置，如果没有停在“0”位置，则调节定位螺钉，使指针指零。

(2) 使用时，红表笔插入“+”插孔；黑表笔插入“-”插孔。

(3) 测量不同的物理量，转换开关要拨到相应挡位上。注意量程的选择，表笔的正、负极性要正确。

(4) 选择电流或电压量程时，先估计要测电流或电压值最好使指针处在刻度尺 $2/3$ 以上的位置；选择电阻挡位时，最好使指针处在刻度尺的中间位置附近。

(5) 在测量某一物理量时，不能在测量的同时换挡，尤其是在测量高电压或大电流时，更应注意。否则，会毁坏多用电表。如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量。

(6) 多用电表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用，还应将多用电表内部的电池取出来，以免电池腐蚀表内其他器件。

用多用电表测量直流电压

(1) 将功能选择开关旋至“**V**”（直流电压测量）挡。

(2) 根据待测电压的估计值选择量程。如果难以估计待测电压值，应按照从大到小的顺序，先将选择开关选到最大量程上试测，然后根据测量出的数值，重新确定适当的量程再进行测量。

(3) 测量时，用红、黑表笔使多用电表跟小灯泡并联，注意红表笔接触点的电势比黑表笔高。检查无误后再闭合开关，电路图如图 7-32 所示。

(4) 根据表盘上相关量程的直流电压标度读数，这就是小灯泡两端的电压。

用多用电表测量直流电流

(1) 将功能选择开关旋至“**A**”（直流电流测量）挡。

(2) 根据待测电流的估计值选择量程。注意：多用电表直流电流挡是毫安挡，不能测量比较大的电流。测量电流时，应选择适当的量程，使表针偏转尽量大一些，测量结果比较准确。

(3) 测量时，应使电表与待测电路串联。使电流从红表笔流入电表，从黑表笔流出电表，检查无误后再闭合开关，电路图如图 7-33 所示。

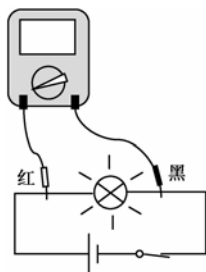


图 7-32 测电压

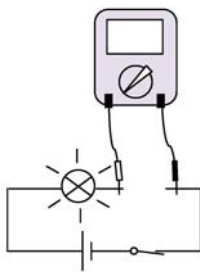


图 7-33 测电流

(4) 根据挡位所指的量程以及指针所指的刻度值，读出电流表的示数，这就是通过小灯泡的电流。

用多用电表测量电阻

(1) 将多用电表的选择开关旋至“ Ω ”(电阻测量)挡。

(2) 根据待测电阻的估计值选择适当的倍率挡,然后将两表笔直接接触,调节“欧姆调零旋钮”,使指针指着“ $0\ \Omega$ ”(以后测量电阻时,每转换一次电阻测量挡,都要先调零),如图 7-34 所示。

(3) 测量时,将两表笔分别接触待测电阻的两端,如图 6-35 所示。把读得的欧姆数乘以欧姆挡的倍率,即为被测电阻的阻值。

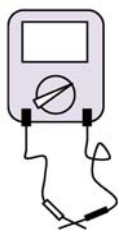


图 7-34 调零

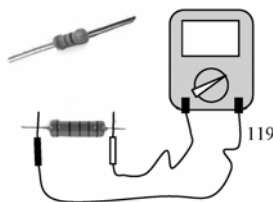


图 7-35 测电阻(此图正在重新制作中)

想一想

大家都知道,人体是一个导体,人体的电阻能用多用电表测量吗?怎样测量?

注意:① 准备测量电路中的电阻时,应先切断电源,不能带电测量,如图 7-36 所示。② 测量时双手不可碰到电阻引脚及表笔金属部分,以免接入人体电阻,引起测量误差。③ 测量电路中的某一电阻时,应将电阻的一端断开,以免接入其他电阻。

交流电压的测量

(1) 将功能选择开关旋至“ V ”。

(2) 根据被测电压的值选择量程。如测我们用的照明电压,则选 500V 挡。

(3) 多用电表测交流电压,没有“+”、“-”极的区分,可以直接拿两探笔进行测量。

(4) 分别测量如图 7-37 所示四孔插座的交流电压 U_{A0} 、 U_{AB} 、 U_{AC} 的值。

$U_{A0} = \quad \text{V}$, $U_{AB} = \quad \text{V}$, $U_{AC} = \quad \text{V}$ 。

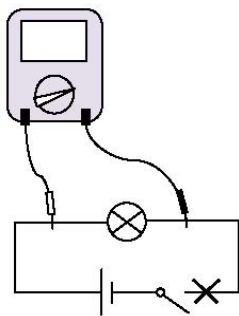


图 7-36 不能带电测电阻

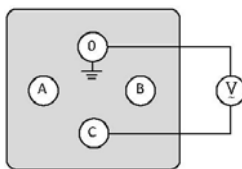


图 7-37 四孔插座

社会调研

同学们都用过白炽灯泡照明吧，请你选一只白炽灯泡，测量出它的直流电阻值。并与用该灯泡的额定功率和额定电压算出的电阻 $R=U^2/P$ 进行比较。

想想练练

1. 用多用电表测量电阻时怎样调零？经调零后再改换挡位，是否要重新调零？
2. 有一无法估计大小的电压需用多用电表测量，这时你应如何进行测量？
3. 多用电表使用后，其功能选择开关要调至哪个挡位？为什么？

7.7 实验 测定电源电动势和内电阻

目标要求

利用全电路欧姆定律测量电源电动势和内阻。

实验目的

利用所学知识和现有实验条件设计测量电源电动势和内阻的实验方案，并进行实验。

实验原理

测定电源的电动势和内阻有许多种方法，分别介绍如下，同学们可以根据自己的实验条件选用。

方法一：在图 7-38 中，电源电动势 E 、内阻 r ，与路端电压 U 、电流 I 的关系可写为

$$E=U+Ir$$

如果能测出 U 、 I 的两组数据，就可以列出 $E=U_1+I_1r$ 和 $E=U_2+I_2r$ 两个方程，于是能够从中解出 E 和 r 。因此，用电压表、电流表加上一个可以改变的电阻，就能测定电源的电动势 E 和内阻 r 。

方法二：将上式写成

$$E=IR+Ir$$

如图 7-39 所示，如果能得到 I 、 R 的两组数据，也可以得到 $E=I_1R_1+I_1r$ 和 $E=I_2R_2+I_2r$ 两个方程，于是能够从中解出 E 和 r 。这样，用电流表、电阻箱也可以测定电源的电动势和内阻。

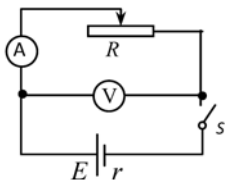


图 7-38 测出两组 U 、 I 的值

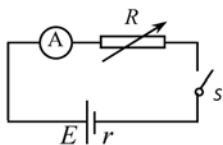


图 7-39 测出两组 I 、 R 的值

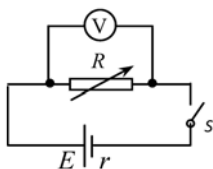


图 7-40 测出两组 U 、 R 的值

方法三： $E=U+Ir$ 还可以写成

$$E=U+\frac{U}{R}r$$

根据 7-40 所示的电路，如果能得到 U 、 R 的两组数据，同样能通过解方程组求出 E 和 r 。这样，还可以用电压表、电阻箱来测定电源的电动势和内阻。

实验方法

把较粗的铜丝和铁丝相隔约几厘米插入酸橙或西红柿中，就制成一个水果电池（铜丝和铁丝相距越近、插入越深，电池的内阻就越小），铜丝是电池的正极，铁丝是负极。同学们可以用图 7-40 的方法来测量水果电池的电动势和内阻。

实验步骤

- (1) 将水果电池、电压表、电流表、开关、可变电阻按图 7-38 所示连接好。
- (2) 把可变电阻 R 设在某一较大阻值，闭合开关后用电压表测出电阻两端的电压，用电流表测出通过电阻的电流。把电压值和电流值记录在表 7-4 中。
- (3) 减小电阻，通过它的电流随之增大。这样又获得电压和电流的另一组数据。与此类似，可以得到多组电压、电流值，然后用方程组求得电源电动势 E 和内阻 r 。

表 7-4 记录电压值和电流值

实验次数	电压/V	电流/A	电动势/V	内电阻/ Ω
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
平均值				

用水果电池做这个实验的优点是它的内阻比较大容易测量。缺点是由于化学反应在正极附近会析出气体，在一定程度上使电极与电解质溶液（果汁）隔离，明显地改变了内阻。所以，测量前要做好充分的准备，测量要迅速，使得内阻发生较大变化之前结束测量。

利用水果电池当电源不太稳定，也可以改为测量旧干电池的电动势和内阻。旧干电池的内阻较大，更容易测量。

社会调研

如果选用铜片和镀锌螺钉，水果用西瓜或菠萝按图 7-38 所示连成电路，能否测量出电池的电动势和内阻？请同学们做做看。

想想练练

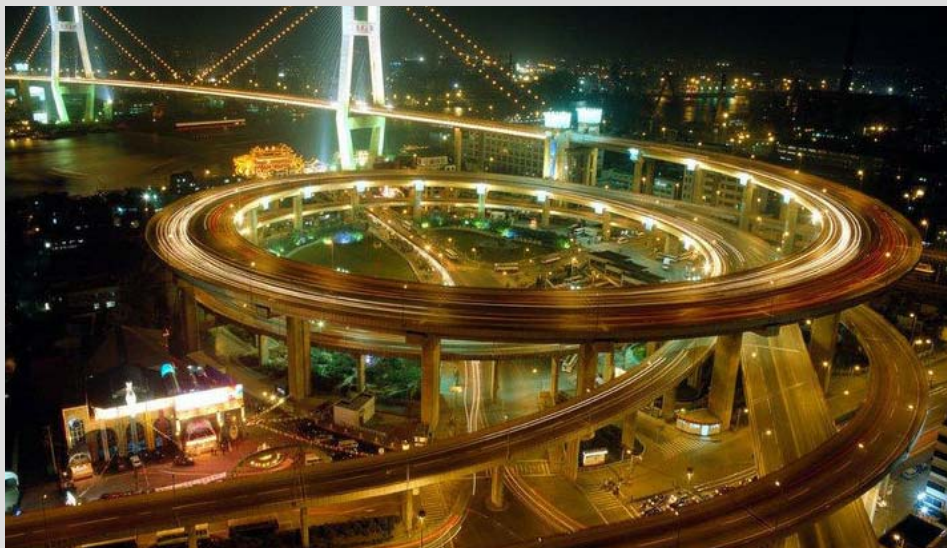
1. 如何利用简单的方法，粗略地测定电源电动势？
2. 路端电压随外电阻变化的规律如何？
3. 给你一个电压表和电阻箱，如何测定电源电动势和内电阻？

本章小结

本章主要讲述了电流、电阻、电动势、电功、电功率、电热、热功率的概念和全电路欧姆定律，进步学习了串并联电路的特点及其应用。

1. 电阻 $R = \frac{U}{I}$ ，电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ 。
2. 电流 $I = \frac{q}{t}$ ，部分电路欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 。
3. 电源及其电动势的概念，全电路欧姆定律 ($I = \frac{E}{R+r}$) 及应用，电动势的测量。
4. 电功 ($W=UIt$)、电功率 ($P=UI$) 的概念，焦耳定律 $Q=I^2 Rt$ 。
5. 串、并联电路的特点及其应用。
6. 用多用电表测量交直流电压、电流与电阻。
7. 用电安全——触电类型与防范。

第 8 章 磁场 电磁感应



与电现象一样，磁现象也与人类有着密切的联系。现代生活及科技领域中磁现象的利用越来越多，如银行存款用的磁卡、电饭锅的自动断电装置、电话机，以及电子计算机和各类电气仪表。在这一章中我们将在初中学习的基础上进一步学习磁现象以及与之相关的知识。

8.1 磁场 磁感强度

目标要求

了解磁场、磁感线、磁感强度的概念，会用磁感线描述磁场，能用磁感强度和磁通量的定义式进行简单计算；了解电流的磁场，会判断直线电流、环形电流及通电螺线管的磁场方向。

在 2000 多年前，人们就已经发现了磁现象。早在战国时期，我们的祖先就发明了指南针。近代，随着科学技术的发展，电磁学理论日趋完善，电磁技术在科学技术、工程建设等各个领域中也得到了广泛的应用。

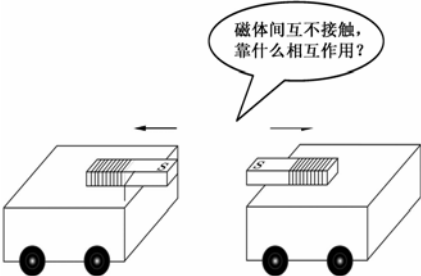


图 8-1 两磁极间相互作用

磁场 磁感线

磁场 在初中物理中我们学过，两个磁铁的磁极靠近时，它们之间会产生相互作用，同名磁极互相排斥，异名磁极互相吸引（图 8-1）。与电荷之间的相互作用是通过电场产生的一样，磁极之间相互作用的力也是通过磁场发生的。磁铁的周围产生磁场，磁场对其中的磁体有力的作用。磁场的基本特性是对放在磁场中的磁体有力的作用。

实验探究

把小磁针放在磁体周围，观察小磁针在磁场力的作用下的偏转规律。我们发现，静止时，每个小磁针的指向是不同的，但一系列小磁针的极性指向是有规律的。小磁针的分布如图 8-2 所示。

除小磁针外，还可以用细铁屑来观察磁场的形状。把一块玻璃平放在条形（蹄形）磁铁上，然后在玻璃板上均匀地撒上一层细铁屑，轻敲玻璃，就会发现铁屑有规则地排列起来（图 8-3），显示出磁场的形状。

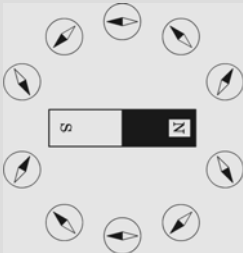


图 8-2 小磁针的分布

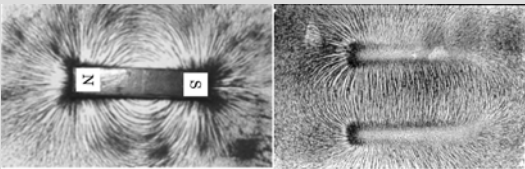


图 8-3 条形磁铁磁场分布 蹄形磁铁磁场分布

磁场的方向 磁场具有方向。物理学中规定：在磁场中的某一点，小磁针 N 极（北极）受力的方向，即小磁针静止时 N 极所指的方向，就是该点的磁场方向。

磁感线 所谓磁感线，就是在磁场中画出的一些有规则的曲线，曲线上每一点的切线方向都与该点的磁场方向一致（如图 8-4 所示）。条形磁铁与蹄形磁铁周围磁感线如图 8-5 所示。

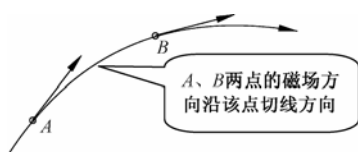


图 8-4 磁场方向

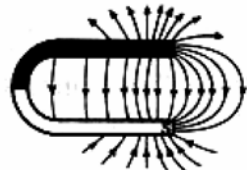
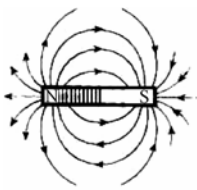


图 8-5 条形磁铁与蹄形磁铁周围磁感线

磁感线的疏密表示磁场的强弱：磁感线分布密集的地方，磁场强；反之，磁感线分布稀疏的地方，磁场弱，如图 8-6 所示。

磁感线是封闭的曲线，在磁体外部是从磁体的 N 极出来，进入磁体 S 极，在磁体内部由 S 极到 N 极。

磁感强度 不同磁场的强弱差别很大，巨大的电磁铁能够吸起成吨的钢铁，而小的磁铁只能吸引起小铁针。与描述电场用电场强度一样，描述磁场强弱，用**磁感强度**。

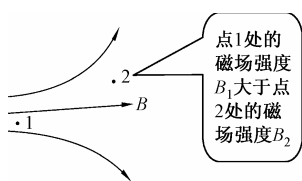


图 8-6 磁感线疏密

磁感强度通常用字母 B 表示，在国际单位制中，它的单位是**特斯拉**，简称**特**，用符号 T 表示。

匀强磁场 一对面积较大的平行磁极之间的磁场，除边缘外，内部各点的磁感强度大小和方向处处都相同，如图 8-7 所示。这样的磁场称为**匀强磁场**。匀强磁场的磁感线互相平行，且间隔相等，如图 8-8 所示。

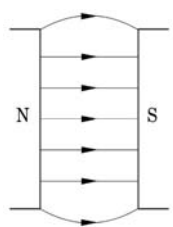
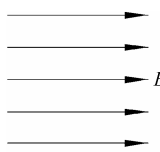
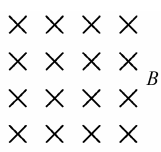


图 8-7 匀强磁场



(a) 方向水平向右的匀强磁场



(b) 方向垂直指向纸内的匀强磁场



(c) 方向垂直指向纸外的匀强磁场

图 8-8 匀强磁场的磁感线

磁通量 研究电磁现象时，常常讨论穿过某一面积的磁感线条数及它的变化，为此引入**磁通量**。我们把磁感强度 B 与面积 S 的乘积叫做穿过这个面的**磁通量**，如图 8-9 所示，简称**磁通**，通常用字母 Φ 表示，则有

$$\Phi = BS$$

在国际单位制中，磁通量的单位是**韦伯**，简称**韦**，符号是 Wb 。

$$1Wb = 1T \cdot m^2$$

由公式 $\Phi = BS$ ，我们可以得出 $B = \frac{\Phi}{S}$ ，这表示磁感强度在数值上等于穿过垂直磁场方向

的单位面积的磁通量。因此，磁感强度也叫做磁通密度，并且 $1\text{T}=1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

电流的磁场 磁铁并不是磁场的唯一来源。1820 年丹麦物理学家奥斯特做过如图 8-10 所示的实验：把一条导线平行地放在磁针的上方，给导线通电，磁针就发生偏转。这说明不仅磁铁能产生磁场，电流也能产生磁场，电与磁是有密切联系的。

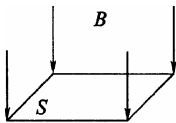


图 8-9 磁通量

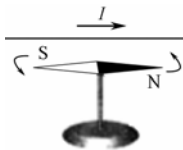


图 8-10 电流磁场

实验探究

让一根直导线垂直穿过水平硬纸板，在硬纸板上均匀地撒上一些细铁屑，当导线通过电流时，轻敲硬纸板，观察发生的现象。

实验表明，直线电流的磁感线是围绕导线的一些同心圆，如图 8-11 所示。
安培定则 磁感线方向跟电流的方向关系可以用安培定则来判定：右手握住导线，让伸直的拇指方向与电流的方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向（如图 8-12 所示）。

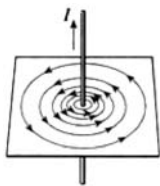


图 8-11 直线电流磁场方向



图 8-12 安培定则

实验发现，通电环形电流（如图 8-13 所示）与通电螺线管（如图 8-14 所示）周围也存在着磁场，通电螺线管磁场与条形磁铁的磁场相似。磁场方向的判断也是利用安培定则：用右手握住螺线管（或环形导线），让弯曲的四指所指的方向与电流的方向一致，拇指所指的方向就是其内部磁感线的方向（如图 8-15 所示）。

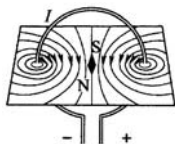


图 8-13 环形电流磁场

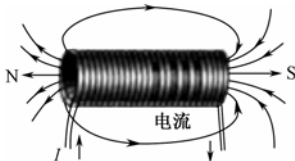


图 8-14 螺线管磁场

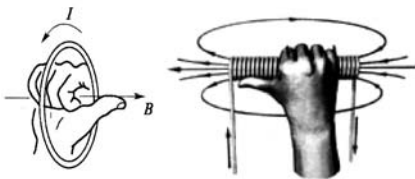


图 8-15 磁场方向判别

想一想

判定直线电流和环形电流周围磁场的方向时，使用安培定则的方法有什么不同？

例题 1 在图 8-16 (a) 中标出直线电流磁场中的小磁针偏转的方向。

解 求解本例题有两个根据：①电流周围的磁场由安培定则判断；②小磁针 N 极在磁场中受力方向顺着电流磁场的方向。

因此，三种情况下小磁针偏转的方向如图 8-16 (b) 所示。

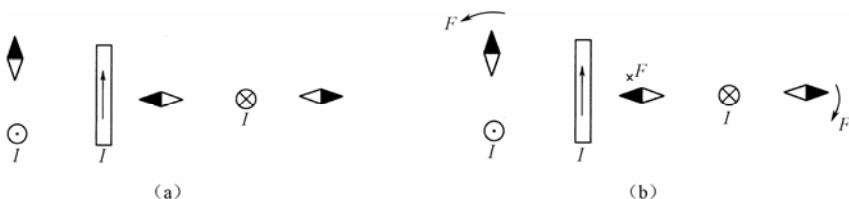


图 8-16 例题 1 图

例题 2 如图 8-17 (a) 所示，判断两通电螺线管之间有没有相互作用？如果有，是吸引还是排斥？

解 根据安培定则判断，两个通电螺线管产生的磁场如图 8-17 (b) 所示。

所以两通电螺线管之间相互排斥。

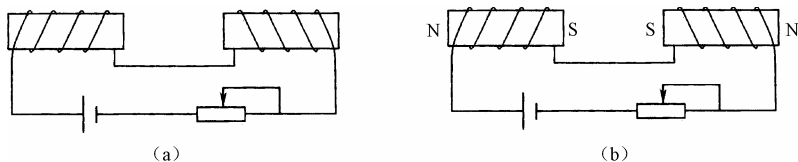


图 8-17 例题 2 图

想想练练

1. 如图 8-18 所示，把小磁针放在磁场中，磁场方向如图中的箭头所示。小磁针是否会转动？它将停在哪个方向？
2. 如图 8-19 所示，当电流通过线圈时，磁针的北极指向读者，试确定线圈中的电流方向。
3. 试根据小磁针静止时的位置确定图 8-20 中电源的正极和负极。

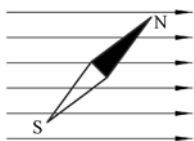


图 8-18 第 1 题图

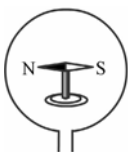


图 8-19 第 2 题图

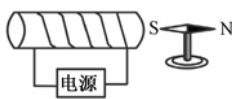


图 8-20 第 3 题图

8.2★ 磁介质 铁磁材料

目标要求

了解磁介质的概念，了解铁磁材料的种类及其特性，知道铁磁材料在电磁铁、变压器、电动机、磁带、录像带、磁盘等方面的应用。

磁现象的电本质

磁铁和电流都能产生磁场。它们的磁场有什么联系呢？

电流是由电荷运动产生的，所以电流的磁场也应该是由电荷运动产生的。那么，磁铁的磁场是否也是由电荷运动产生的呢？

安培根据通电螺线管外部的磁场与条形磁铁的磁场的相似性，提出了著名的分子电流假说。他认为，在原子、分子等物质微粒内部，存在着一种环形电流——分子电流。分子电流使每个物质微粒都成为微小的磁体，它的两侧相当于两个磁极，如图 8-21 (a) 所示。

安培的假说能够解释一些磁现象。一根铁棒未被磁化的时候，内部各分子电流的取向是杂乱无章的，如图 8-21 (b) 所示，它们的磁场互相抵消，对外界不显磁性。当铁棒受到外界磁场的作用时，各分子电流的取向变得大致相同，如图 8-21 (c) 所示，铁棒磁化，形成磁极。两端对外界显示出较强的磁作用，磁体受到高温或猛烈撞击时会失去磁性，这是因为激烈的热运动或震动使分子电流的取向又变的杂乱无章了。

在安培所处的时代，人们对物质内部为什么会有分子电流还不清楚。直到 20 世纪初，才认识到分子电流是由于原子内部带电粒子在不停地运动，这种运动对应于安培所说的分子电流。安培的分子电流假说，揭示了磁铁磁性的起源，它使我们认识到：磁铁的磁场和电流的磁场一样，都是由电荷运动产生的。

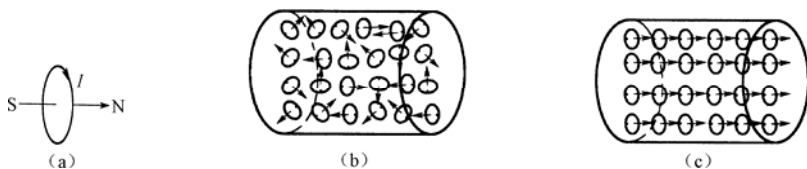


图 8-21 分子电流假说

铁磁材料

使原来没有磁性的物质具有磁性的过程称为**磁化**。一切能够磁化的物质称为**磁介质**。根据材料磁化后对原磁场的影响情况可以把材料分为三类：

- 不能增强原磁场或对原磁场有减弱作用的材料，称为**抗磁材料**，如铜、银等。
- 能少量增强原磁场的材料，叫**顺磁材料**，如空气、锡、铝等。
- 使原磁场增强几千甚至几万倍的材料，叫**铁磁材料**，如铁、镍、钴及其合金等。

对于铁磁材料，又可分为软磁性材料和硬磁性材料。磁化后容易去掉磁性的材料叫做**软磁性材料**，不容易去掉磁性的材料叫做**硬磁性材料**。

软磁性材料的特点是剩磁弱，而且容易去磁，适用于需要反复磁化的场合。它可以用来制造半导体收音机的天线、录音机的磁头、电子计算机的记忆元件，以及变压器、交流发电机、电磁铁和各种高频元件的铁芯等。

硬磁性材料的特点是剩磁强，而且不易退磁，适合制成永磁铁，应用在磁电式仪表、扬声器、传声器、永磁电动机等电器设备中。

随着社会的进步,磁性材料和我们日常生活的关系也越来越密切。录音机上用的磁带、录像机上用的录像带、电子计算机上用的磁盘、储蓄用的信用卡等,都带有磁性材料。这些磁性材料称为磁记录材料。利用磁记录材料,我们可以在磁带、录像带、磁盘上保存大量的信息,并在需要时“读”出这些信息。在 20 世纪 70 年代以前,多采用磁性氧化物做为磁记录材料。1978 年合金磁粉研制成功之后,开始采用金属磁性材料,从而大大提高了磁记录的性能。现在人们又在使用金属薄膜做磁记录材料,磁记录技术得到了进一步的提高。

地磁场 我们已经知道,地球本身也会在附近的空间产生磁场,叫做地磁场。在地球的两极附近,地磁场的磁感强度约为 $5 \times 10^{-5} \text{T}$,而实验室中的永久磁铁,两极附近的磁感强度约为 0.5T ,所以地磁场是非常弱的。

有一种学说认为,地磁场主要是由于地球内部电磁液体的运动产生的。太阳不断向地球辐射粒子,由于太阳的活动,辐射粒子的强弱也在不断变化,这些粒子与高层大气作用,会产生各种短暂的电荷流动,它们产生的磁场会影响地磁场,严重时会发生全球性强烈的磁扰,持续时间约为 1~3 天,称为磁暴。磁暴会干扰无线电通信。研究地磁场对于通信、航天以及探矿有重要意义。



想想练练

1. 什么实验可以证明,除了永磁体外,电流也可以成为磁场的场源?
2. 安培怎样在微观上把电现象和磁现象联系起来了,他是怎样解释物体的磁化现象的?



阅读材料

磁悬浮列车

目前火车运动的阻力有一大部分来自车轮与轨道之间的摩擦力,如果能使列车从铁轨上浮起来,就可以避免这种摩擦力,从而大幅度提高列车的速度。

有两种方法可以产生这种“浮力”,一种是利用喷气,称为气垫浮起法,这种方法噪声很大,而且稳定性差,难以应用;另一种是利用列车与铁轨之间的电磁作用力将列车从铁轨上浮起,称为磁悬浮。

磁悬浮列车消除了物体与轨道之间的摩擦,因而突破了以往列车的速度极限,每小时可运行 550km,这几乎达到了短程飞机的航速,并具有噪声低、动力消耗少和稳定性高等优点。目前许多国家都在进行磁悬浮列车的研制,上海磁悬浮列车示范段已建成通车。此外,我国西南交通大学试制未来号磁悬浮列车样车也即将实践运行。人们期待已久的行车如飞的时代就要到来了。

8.3 磁场对电流的作用

目标要求

理解左手定则和安培定律,会运用左手定则判断通电导线在磁场中的受力方向,能用安培定律进行简单计算。

磁场对电流的作用

实验探究

把一段直导线放在磁铁的磁场里，使导线中通有电流，观察导线的变化。

实验表明（图 8-22），磁场对电流有力的作用。为了纪念安培在研究磁场对电流作用方面的杰出贡献，人们把磁场对电流的作用力称为**安培力**。下面我们讨论安培力的大小和方向。

导线与磁场方向垂直时，电流所受安培力最大。导线与磁场方向斜交时，电流所受安培力较小。导线与磁场方向平行时，电流所受安培力等于零，如图 8-23 所示。

安培定律 进一步研究表明：当通电导线垂直于磁场方向时，它所受到的安培力的大小等于磁感强度 B 、电流 I 、导线长度 L 三者的乘积，这个规律叫做安培定律。用公式表示，则有

$$F=BIL$$

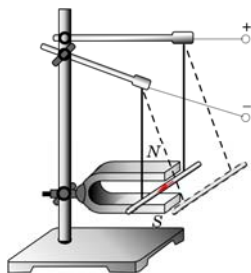
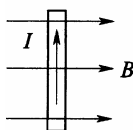
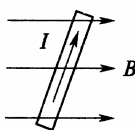


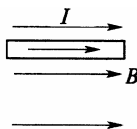
图 8-22 磁场对电流的作用



安培力最大



安培力变小



安培力为零

图 8-23 几种情况下安培力的比较

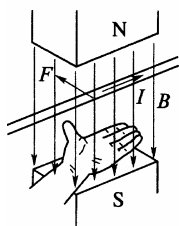


图 8-24 左手定则

在国际单位制中，安培定律公式中的 F 、 B 、 I 、 L 的单位依次为 N，T，A，m。

左手定则 通过研究，人们归纳出安培力的方向可以用左手定则来判定：伸开左手，使大拇指与其余四手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内，让磁感线垂直进入手心，并使四指指向电流方向，那么大拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向（图 8-24）。

电流能够产生磁场，而磁场对通电导体有力的作用，于是人们很自然地想到，通电导线之间，也应该通过磁场发生相互作用。我们通过下面的实验研究这一问题。

实验探究

将两根导线平行地挂在一起，使导线中通有电流。观察导线的变化，改变其中一根导线电流的方向和大小，记下观察到的现象，如图 8-25 所示。

实验发现一个有趣的现象：两直导线中电流方向相同时，它们互相吸引；而电流方向相反时，它们互相排斥。

用左手定则也可以得出上述结论。每一根通电导线都要产生磁场，而另一根通电导线处于这个磁场中，且电流方向恰好与磁场方向垂直，利用左手定则即可得出安培力的方向如图 8-26 所示。

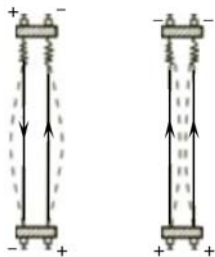


图 8-25 两平行直导线的作用

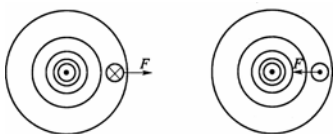


图 8-26 受力分析

例题 如图 8-27 所示，一轻质金属杆 MN 长为 0.1m ，水平放在光滑导轨上，跨过定滑轮悬挂一质量为 0.01kg 的物体。将导轨放置于匀强磁场中，磁场方向竖直向上，磁感强度大小为 0.8T 。为了使金属杆保持静止，需在金属杆中通入多大的电流？方向如何？

分析 在金属杆中通入电流后，金属杆将受到磁场产生的安培力。只要电流的大小、方向适当，金属杆所受安培力就能与细绳的拉力保持平衡，如图 8-28 所示。

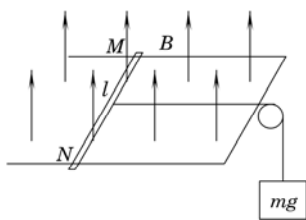


图 8-27 金属杆放在导轨上

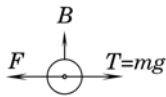


图 8-28 受力分析

解 由金属杆平衡条件得安培力

$$\begin{aligned} F &= T = mg \\ &= 0.01 \times 9.8\text{N} \\ &= 0.098\text{N} \end{aligned}$$

力的方向水平向左。

由安培力公式 $F=BIL$ 得

$$\begin{aligned} I &= \frac{F}{BL} \\ &= \frac{0.098}{0.8 \times 0.1}\text{A} \\ &\approx 1.23\text{A} \end{aligned}$$

利用左手定则可以判定电流方向由 M 向 N 。

1. 一根长 $L=1.5\text{m}$ 的直导线, 通有 $I=1\text{A}$ 的电流, 把它放在 $B=0.2\text{T}$ 的匀强磁场中, 导线与磁场方向垂直, 这段导线所受的安培力有多大?

2. 如图 8-29 所示, 某同学制作了一个自动控制装置, 他想控制电磁铁 a 的电路开关 S , 使 S 闭合时把另一个靠得很近的电磁铁 b 推开。电磁铁 b 的电路已经接好, 请在图中虚线框内画出电磁铁 a 的电源极性。

3. 如图 8-30 表示一根放在磁场中的通电导线, 图中 (a)、(b)、(c) 中分别标明了电流、磁感应强度和安培力 3 个量中两个量的方向, 试在图中画出第 3 个量的方向。

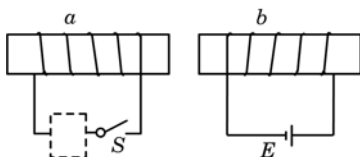


图 8-29 第 2 题图

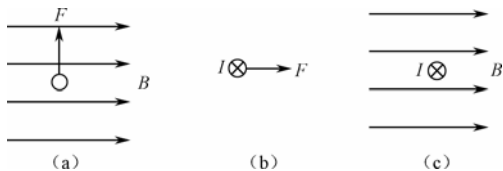


图 8-30 第 3 题图

8.4★ 磁场对通电线圈的作用

目标要求

了解匀强磁场对通电矩形线圈的作用, 能用磁力矩公式进行简单计算; 了解磁电式电表的工作原理。

磁场对通电矩形线圈的作用

我们已经知道通电导线在磁场中受力的情况, 通电矩形线圈在磁场中会怎样呢? 通电矩形线圈在磁场中放置有如图 8-31 所示的三种情况。

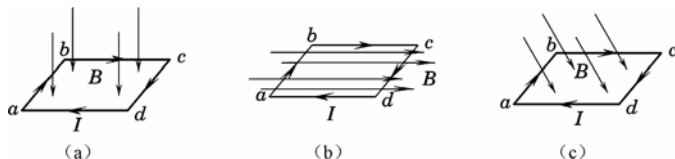


图 8-31 磁场对通电线圈的作用

对于图 8-31 (a) 所示的情况, 由左手定则可以得出 $abcd$ 四个边的受力情况如图 8-32 (a) 所示, 其中, ab 长为 L_1 , ad 长为 L_2 。矩形线圈在磁场中受到的合力为零。如果电流或磁场方向反向, 其所受合力仍然为零, 即通电矩形线圈不动。

对于图 8-31 (b) 所示的情况, bc 与 da 两边与磁场的方向平行将不受力的作用, 由左手定则可以确定 ab 和 cd 两边受力如图 8-32 (b) 所示。两个力 F_{ab} 和 F_{cd} 大小相等方向相反, 不在同一条直线上, 从而形成磁力矩, 线圈 $abcd$ 在磁力矩的作用下绕轴 OO' 发生转动。

由安培定律可知, 边长为 L_1 的 ab 与 cd 两边受到的力为

$$F_{ab}=F_{cd}=F=BIL_1$$

因两力到转轴 OO' 力臂为 $L_2/2$ ，则有

$$M = F_{ab}L_2/2 + F_{cd}L_2/2 = FL_2 = BIL_1L_2 = BIS$$

其中，线圈面积 $S=L_1L_2$

如果线圈是由 n 匝组成，则上式变为

$$M=nBIS$$

由此可知，通电线圈在磁场中受到磁力矩与线圈匝数、磁感强度、电流和线圈面积成正比。

对于图 8-31 (c) 所示的情况，由于磁场方向与线圈平面有一定的夹角，可以把磁感强度进行分解：垂直于线圈平面的分量，不产生磁力矩；只有与线圈平面平行的分量，使线圈产生磁力矩。因此上面的公式要乘以两者夹角的正弦（线圈的方向为线圈平面的垂直方向，即法线方向），如图 8-32 (c) 所示。

$$M=nBIS\sin\theta$$

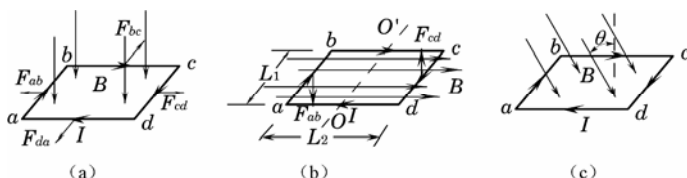


图 8-32 磁场对通电线圈作用力

磁电式电表工作原理

磁电式电表是磁场对电流作用规律的典型应用。

为什么指针偏转的角度可以表示电流的大小呢？让我们来观察电流表的内部结构。

磁电式电表的构造如图 8-33 所示。在一个磁性很强的蹄形磁铁的两极之间，有一个固定的圆柱形铁芯，铁芯的外面套有一个可以绕轴转动的铝框，铝框上绕有线圈，铝框的转轴上装有两个螺旋弹簧和一个指针。线圈的两端分别接在这两个螺旋弹簧上，被测电流经过这两个弹簧流入线圈。

蹄形磁铁和铁芯之间的磁场是均匀辐向分布的，无论通电线圈转到什么位置，它的平面都跟磁感线平行，如图 8-34 所示。当电流通过线圈时，线圈上与铁芯轴线平行的两边受到安培力产生力矩作用，使线圈发生转动。线圈转动时，螺旋弹簧被扭动，弹簧扭动产生一个阻碍线圈转动的力矩，当它与安培力产生的力矩相平衡时，线圈停止转动。线圈中的电流越大，所受磁力矩就越大，从而使线圈克服弹簧力矩转过的角度就越大。所以根据指针偏转角度的大小，便可以知道被测电流的强弱。当线圈中的电流方向改变时，安培力的方向随着改变，指针的偏转方向也随着改变，所以根据指针的偏转方向，可以知道被测电流的方向。

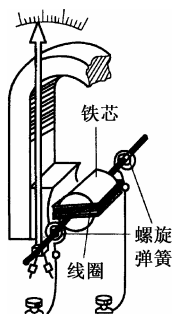


图 8-33 磁电式电表

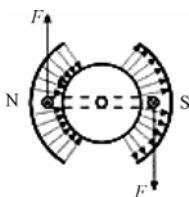


图 8-34 受力分析

磁电式仪表的优点是灵敏度高，可以测量很弱的电流；缺点是绕制线圈的导线很细，允许通过的电流很弱（几十微安到几毫安），若通过的电流超过允许值，很容易把它烧坏，这一点使用时一定要注意。

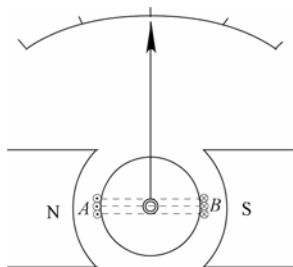


图 8-35 磁电式电表测量机构

想想练练

1. 简述磁电式电表的工作原理。
2. 如图 8-35 所示是磁电式电表测量机构的示意图，图中指针固定在动圈 AB 上。已知动圈的电流方向是 B 流进， A 流出，试判别指针如何偏转？

8.5★ 磁场对运动电荷的作用

目标要求

理解洛伦兹力，会判断洛伦兹力的方向，能用洛伦兹力公式进行简单计算；了解带电粒子在匀强磁场中的运动，知道带电粒子在匀强磁场中的运动规律；了解显像管的工作原理，能举出其应用实例。

磁场对通电导线有安培力的作用，而导线中的电流是由电荷的定向移动形成的，由此人们自然会想到：运动电荷所受磁场力的宏观表现，就是通电导线所受的安培力。

磁场对运动电荷的作用

实验探究

如图 8-36 是一个抽成真空的电子射线管，通电后管中左端的阴极能够发射电子。电子束从左向右运动的过程中不断有电子打在板上。由于板上涂着荧光物质，受到电子打击时可以发光。因此它能显示电子运动的轨迹。

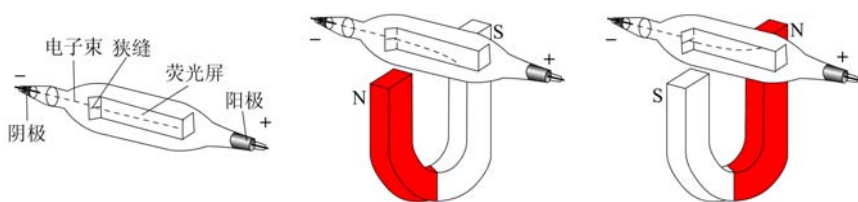


图 8-36 研究磁场对运动电荷的作用

洛伦兹力 实验表明，没有外磁场时，电子束沿直线前进，表明电荷在垂直于其运动的方向上不受力。如果把射线管放在蹄形磁铁的两极之间，电子束运动的轨迹发生了弯曲，表明运动电荷受到磁场的作用力。荷兰物理学家洛伦兹首先提出磁场对运动电荷有力的作用，为了纪念他，人们称这种力为**洛伦兹力**。

洛伦兹力的方向总与电荷运动的方向垂直，所以洛伦兹力只能改变粒子运动的方向，不能改变粒子运动的快慢。或者说，洛伦兹力对带电粒子不做功。

洛伦兹力的方向用**左手定则**来判定：伸开左手，使拇指与四指在同一平面内且与四指垂直，让磁感线垂直穿入手心，使四指指向正电荷运动的方向（或负电荷运动的反方向），这时拇指所指的方向就是正电荷（或负电荷）所受洛伦兹力的方向。

理论和实验都表明，一个电荷量为 q 的粒子，如果它的运动速度 v 与磁场 B 的方向垂直，它所受的洛伦兹力的大小为

$$F=qvB$$

即电荷沿垂直于磁场的方向运动时，**磁场对运动电荷作用力的大小等于电荷的电荷量、速率、磁感应强度三者之积**。在国际单位制中，上式的各个物理量的单位分别为 N，C，m/s，T。

带电粒子在匀强磁场中的运动

如图 8-37 所示，一电量为 q 的带电粒子射入磁场时，初速度与磁场方向垂直，粒子在洛伦兹力的作用下将做什么运动呢？

垂直射入匀强磁场的带电粒子，它的初速度和所受洛伦兹力的方向都在与磁场方向垂直的平面内，所以粒子只能在这个平面内运动；洛伦兹力总是与粒子的运动方向垂直，不对粒子做功，它只改变粒子运动的方向，而不改变粒子的速度的大小，所以粒子运动速度的大小是恒定的；这时洛伦兹力 $F=qvB$ 的大小不变，即带电粒子受到一个大小不变、方向总与粒子运动方向垂直的力，因此带电粒子做匀速圆周运动，其向心力就是洛伦兹力（如图 8-37 所示）。则有

$$qvB = m \frac{v^2}{R}$$

式中， m 为粒子的质量， R 为做圆周运动的半径。

显像管 显像管的构造如图 8-38 所示。

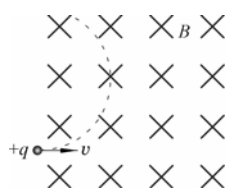


图 8-37 运动电荷在匀强磁场中运动

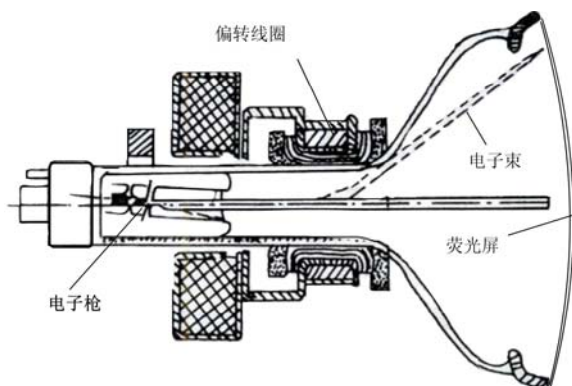


图 8-38 显像管（此图正在重新制作中）

我们看书时，视线是从每行字的左边移到右边，再从第一行依次下移到最后一行。如果把电子束想象成看书的视线，电子束对荧光屏自左向右、自上而下的运动称为**电子束扫描**，如图 8-39 所示。

显像管是利用装在显像管颈部的偏转线圈产生磁场来使电子束偏转的。

如图 8-40 所示，偏转线圈可以使电子束沿水平方向扫描。电流通过偏转线圈时，它就产生了竖直向下的磁场，电子枪发射的电子束射向荧光屏时，其运动方向与磁场方向垂直。电子束受到的洛伦兹力方向向右，因此向右偏转。如果线圈中电流方向与图示方向相反，则电子束就向左偏转。偏转线圈中通过的电流越大，产生的磁场就越强，电子束偏转的角度也就越大。因此，只要在线圈中通以如图 8-41 所示的锯齿状电流，电子束便会自左向右匀速扫描，扫完一行后又很快回扫至左端。

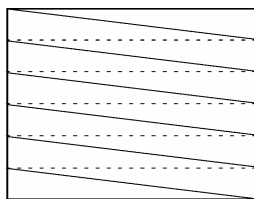


图 8-39 电子束扫描

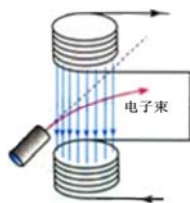


图 8-40 电子束偏转

实际的偏转线圈都做成马鞍形，在显像管颈部上下各放一个，如图 8-42 所示。

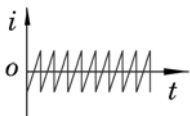


图 8-41 锯齿状电流



图 8-42 偏转线圈

在显像管颈部还装有另一组偏转线圈，它产生沿水平方向的磁场，使电子束上下偏转。当线圈中也通过电流时，电子束将完成上下扫描过程。



想想练练

1. 有一个放在匀强磁场中的放射源,可放射出 α 射线(氦原子核)、 β 射线(电子流)和 γ 射线(不带电)。这些射线在外加磁场作用下发生了如图 8-43 所示的偏转,请指出这三束各是哪种射线。

2. 如图 8-44 所示为水平放置的两块金属板,其上板带正电,下板带负电,板间的电场强度为 $E=3\times 10^4\text{N/C}$ 。板间还存在方向垂直纸面指向纸内的匀强磁场,磁感应强度 $B=0.02\text{T}$ 。当一个带电粒子(不计重力),以某一速度水平射入时,恰能方向不变地经过这一区域,此带电粒子带何种电荷?其速度为多少?

3. 关于磁偏转的应用,从课本所给的技术实例中任选一例,到互联网上查找更详尽的资料和图片,整理成一篇墙报资料。

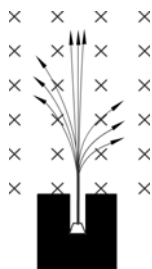


图 8-43 第 1 题图

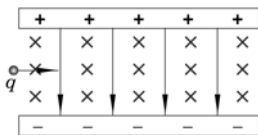


图 8-44 第 2 题图

8.6 电磁感应现象

目标要求

了解电磁感应现象,知道感应电流的产生条件;理解右手定则,能运用右手定则判断感应电流的方向;理解法拉第电磁感应定律,能运用法拉第电磁感应定律进行简单计算。

自从 1820 年奥斯特发现电流的磁效应以后,一些科学家就在思考:既然电流能够产生磁场,反过来,磁场是不是也能产生电流呢?

电磁感应现象

英国物理学家法拉第经过 10 年坚持不懈的努力,在 1831 年终于取得了重大突破,发现了由磁场产生电流的现象。这种现象称为**电磁感应现象**。

在什么条件下才能产生电磁感应现象呢?下面通过几个实验来说明这个问题。

实验探究

1. 如图 8-45 所示, 把导体 AB 和电流表连接起来组成闭合电路, 导体 AB 在磁场中向左或向右运动时, 观察电流表; 导体 AB 平行于磁感线向上或向下运动时, 再观察电流表。

2. 如图 8-46 所示, 把磁铁插入螺线管 B ; 或者从螺线管里拔出来; 或者保持磁铁不动, 移动螺线管; 或者让两者以同一速度运动, 观察电流表指针偏转情况。

3. 如图 8-47 所示, 把螺线管 B 套在螺线管 A 的外面, 螺线管 B 的两端接到电流表上。合上开关给螺线管 A 通电; 或者打开开关使螺线管 A 断电; 或者用变阻器改变电路中的电阻, 使螺线管 A 中的电流发生变化, 观察电流表指针偏转情况。

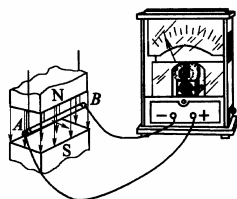


图 8-45 导体切割磁感线

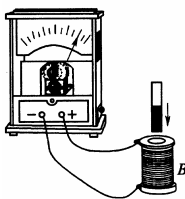


图 8-46 插入条形磁铁

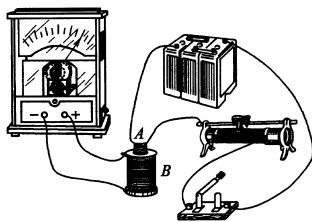


图 8-47 改变线圈 A 中的电流

实验表明, 只要穿过闭合电路的磁通量发生变化, 闭合电路中就有电流产生。这种电流叫做感应电流。

感应电动势 在电磁感应现象中, 既然闭合导体回路中有感应电流, 这个电路中就一定有电动势。我们把在电磁感应现象中产生的电动势叫做感应电动势。

例题 1 如图 8-48 所示, 有一个闭合线圈 $abcd$ 处于很大的匀强磁场中, 在下列哪种情况下, 线圈中有感应电流产生?

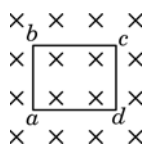


图 8-48 例题 1 图

- (1) 当向右作匀速直线运动时;
- (2) 当向右作匀加速直线运动时;
- (3) 当向纸外平移时;
- (4) 当绕 ab 边向纸内做匀速转动时。

解 要判断线圈中有无感应电流产生, 应根据感应电流产生的条件, 分析闭合线圈中磁通量的变化情况。

当线圈向右做匀速直线运动或做匀加速直线运动或向纸外平移时, 穿过线圈的磁通量都没有发生变化, 线圈中没有感应电流产生。

当线圈绕 ab 边向纸内做匀速转动时, 线圈垂直于磁场的面积减小了, 穿过闭合线圈的磁通量也减少了, 这时有感应电流产生。

所以第 (4) 种情况下, 线圈中有感应电流产生。

想一想

如果线圈平移出匀强磁场, 或者从外面平移进匀强磁场, 请同学们分析线圈中有无电流产生。

从上面的实验中我们知道,只要闭合电路的部分导线做切割磁感线运动电路中就有感应电流产生。那么产生的电流方向是怎样的呢?

右手定则 感应电流的方向与磁感线方向、导体运动方向三者之间有一个便于记忆的关系,这就是右手定则(图 8-49):伸开右手,让拇指与其余四指垂直,并且都与手掌在同一平面内,让磁感线垂直进入手心,拇指指向导体运动方向,其余四指的指向就是感应电流的方向。

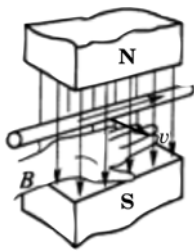


图 8-49 右手定则

法拉第电磁感应定律

实验探究

在图 8-45 所示的实验中,改变导体 AB 切割磁感线的速度;在图 8-46 所示的实验中,改变磁铁运动的快慢;观察电流表指针偏转情况。

大量的实验表明:感应电动势的大小与磁通量变化的快慢有关。磁通量变化越快,感应电动势就越大。

精确的实验表明,电路中感应电动势的大小,与穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。这就是法拉第电磁感应定律。

设 t_1 时刻穿过闭合电路的磁通量为 Φ_1 , t_2 时刻穿过闭合电路的磁通量为 Φ_2 , 则在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内,穿过闭合电路的磁通量的变化量为 $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ 。磁通量的变化率为 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 。感应电动势用 E 表示,则有

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

不难推断,对于 n 匝线圈组成的电路,感应电动势为

$$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

在实际工作中,为了获得较大的感应电动势,常常采用几百甚至几千匝的线圈。

例题 2 在一个 $B=0.01\text{T}$ 的匀强磁场中,放一个面积为 0.001m^2 的线圈,其匝数为 500 匝。在 0.1s 内把线圈平面从平行于磁感线的方向转过 90° , 变为与磁感线的方向垂直。求感应电动势的平均值。

解 当线圈平面垂直于磁感线的方向时,穿过线圈的磁通量为

$$\Phi = BS = 0.01 \times 0.001 \text{ Wb} = 1.0 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

当线圈平面平行于磁感线的方向时,穿过线圈的磁通量等于零。

所以在 $\Delta t = 0.1\text{s}$ 内穿过线圈的磁通变化量为 $\Delta \Phi = 1.0 \times 10^{-5} \text{ Wb}$ 。

由法拉第电磁感应定律得

$$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

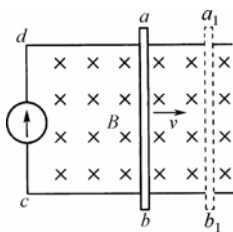


图 8-50

$$= 500 \times \frac{1.0 \times 10^{-5}}{0.1} \text{ V}$$

$$= 0.05 \text{ V}$$

即，感应电动势的平均值是 0.05V。

导体做切割磁感线运动时产生的感应电动势

如图 8-50 所示，在磁感强度为 B 的匀强磁场中，有一个导轨，它的平面与磁感线垂直。导线 ab 放在导轨上，其长度与线框宽度均为 L ，它在与磁感线垂直的方向上以速度 v 向右运动。

经过 Δt 的时间， $abcd$ 中磁通量的变化为 $\Delta \Phi = BLv \cdot \Delta t$ ，由 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 可得

$$E = BLv$$

即，导线在做切割磁感线的运动时，产生的感应电动势的大小等于磁感强度、导线长度、运动速度三者的乘积。

想一想

请同学们自己证明，公式等号两边的单位是一致的，即 $1\text{V} = 1\text{T} \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{m/s}$ 。

例题 3 在 $B=0.10\text{T}$ 的匀强磁场中，一长为 $L=0.40\text{m}$ 的导体以 $v=5.0\text{m/s}$ 的速度做切割磁感线的运动。如果 B ， L ， v 互相垂直，导体和外电路连成闭合回路，总电阻 $R=0.50\Omega$ ，求导体中的感应电动势和感应电流。

分析 首先利用公式 $E=BLv$ ，求出感应电动势 E 。然后根据给出的总电阻 R ，利用欧姆定律就可以计算感应电流。

解 因 B ， L ， v 互相垂直，由法拉第电磁感应定律得

$$E = BLv = 0.10 \times 0.40 \times 5.0 \text{ V} = 0.20 \text{ V}$$

电路中的感应电流为

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0.20}{0.50} \text{ A} = 0.40 \text{ A}$$

在上面的实例中，由于导线 ab 在磁场里做切割磁感线的运动，在闭合电路里产生了感应电流，感应电流流过导体 ab ，使它在磁场里又受到安培力，运用左手定则可以判定安培力的方向与导线 ab 运动的方向相反，即阻碍导线 ab 的运动。

想想练练

1. 如图 8-51 所示为垂直于纸面的一根导体在磁场中运动，导体是闭合电路的一部分，试标出导体内产生的感应电流方向。

2. 一个线圈中的磁通量在 0.40s 内由零均匀增加到 0.40Wb ，若线圈中感应电动势的大小为 10V ，则这个线圈有多少匝？

3. 如图 8-52 所示，金属棒与框架的电阻忽略不计，电流表的内阻为 2.0Ω ，磁感强度为 1.0T ，导轨宽 50cm ，金属棒以 3.0m/s 的速度向右做切割磁感线运动。求

- (1) 电路中的感应电动势为多大?
- (2) 感应电流为多大? 方向怎样?

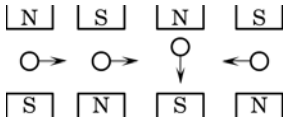


图 8-51 第 1 题图

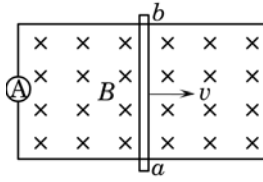


图 8-52 第 3 题图

8.7 自感 互感

目标要求

了解自感、互感现象,认识日光灯、变压器的工作原理;了解自感电动势的概念,知道自感电动势的产生条件及影响自感电动势大小的因素。

自感

实验探究

如图 8-53 所示,先合上开关 S ,调节上面的变阻器 R_1 ,使同样规格的两个灯泡 H_1 和 H_2 的明亮程度相同。再调节变阻器 R_2 ,使两个灯泡都正常发光。然后断开开关 S 。重新接通电路时,观察实验现象。

实验发现,合上开关时,灯泡 H_1 逐渐变亮,灯泡 H_2 却立即正常发光。这是为什么呢?

原来,在接通电路的瞬间,电路中的电流增大,穿过线圈 L 的磁通量增加,因而线圈中必然会产生感应电动势,这个感应电动势阻碍线圈中电流的增大。因此通过 H_1 的电流逐渐增大,所以灯泡 H_1 逐渐亮起来。

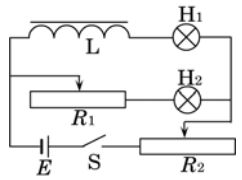


图 8-53 通电自感现象

实验探究

如图 8-54 所示,把灯泡 H 和带铁芯的线圈 L 并联在直流电路中。由于电源电动势小于灯泡发光电压,所以接通电路,灯泡 H 并不发光。断开电路,观察实验现象。

实验发现,断开开关时,灯泡 H 闪亮一下。这是什么原因?

由于电路断开的瞬间,通过线圈的电流突然减弱,穿过线圈的磁通量也就很快地减少,因而在线圈中产生感应电动势。虽然这时电源已经断开,但线圈 L 和灯泡 H 组成了闭合电路,灯泡亮了,说明线圈中产生了感应电动势,并且其值大于灯泡的发光电压。

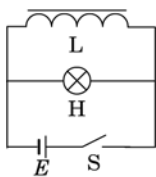


图 8-54 断电自感现象

从上面两个实验可以看出，当线圈中的电流发生变化时，线圈本身就产生了感应电动势，这个电动势总是阻碍导体中原来电流的变化。这种由于导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象，叫做自感现象。在自感现象中产生的感应电动势，叫做自感电动势。那么，自感电动势的大小与哪些因素有关呢？

自感电动势

自感电动势与其他感应电动势一样，其大小与穿过线圈的磁通量变化率成正比。而线圈中的磁通量变化率与线圈中的电流变化率有关。

精确实验表明，自感电动势的大小与电流变化率成正比。用公式表示为

$$E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

式中， L 是比例系数，称为自感系数，简称自感。自感的单位是亨利，简称亨，符号是 H。

自感系数 线圈的自感系数只与线圈本身的结构及周围的介质有关，而与线圈是否流过电流或者电流大小无关。一般而言，线圈的横截面积越大，线圈越长，匝数越多，它的自感系数就越大。另外，有铁芯的线圈的自感系数比没有铁芯时大得多，所以实际使用的自感线圈一般都带有铁芯。

自感现象在各种电器设备和无线电技术中有着广泛的应用。自感线圈是交流电路中的重要元件之一。

日光灯

日光灯是常见的照明光源，结构如图 8-55 所示。灯管两端各有一个灯丝，灯管内充有微量的氩气和稀薄的汞蒸气，灯管内壁上涂有荧光粉。两个灯丝之间的气体导电时发出紫外线，使涂在管内壁上的荧光粉发出柔和的可见光。

镇流器 镇流器（如图 8-56 所示）是日光灯电路中最重要元件之一。在日光灯刚通电时，镇流器和启辉器（如图 8-57 所示）组成闭合回路，启辉器瞬间导通后断开。这时，镇流器中的电流急剧减小，通过自感产生一高出电源电压很多的自感电动势，加在灯管两端，使灯管中的气体放电，从而使日光灯启动后发光。日光灯工作原理图如图 8-58 所示。

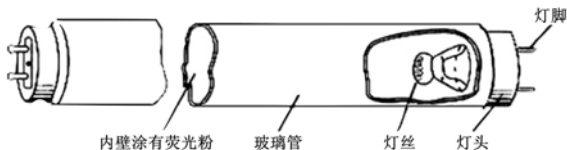


图 8-55 日光灯管

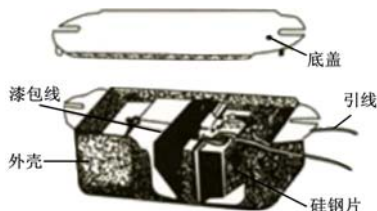


图 8-56 日光灯镇流器

自感现象也有不利的一面。在自感系数很大而电流又很强的电路（如大型电动机的定子绕组）中，在切断电路的瞬间，由于电流在很短的时间内发生很大的变化，会产生很高

的自感电动势，使开关的闸刀和固定夹片之间的空气电离而变成导体，形成电弧。这会烧坏开关头，甚至危及工作人员的安全。因此，切断这类电路时必须采用特制的安全开关。

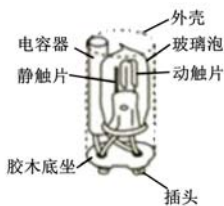


图 8-57 日光灯启辉器

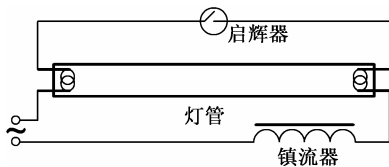


图 8-58 日光灯工作原理图



社会调研

观察日光灯电路，分析日光灯镇流器的作用和原理；举例说明自感现象在生活和生产中的应用。

互感

观察如图 8-59 所示的电路，在开关 S 闭合或断开的瞬间，以及改变 R_P 的阻值，将会发现电流表的指针发生偏转。这是因为，当线圈 A 中的电流发生变化时，通过线圈 A 的磁通量发生变化，该磁通量的变化又影响线圈 B ，使线圈 B 中产生感应电动势和感应电流。

这种由一个线圈中的电流发生变化而在另一线圈中产生电磁感应的现象称为互感现象，简称互感。由互感产生的感应电动势叫做互感电动势。

利用互感现象可以把能量由一个线圈传递到另一个线圈，因此在电工、电子技术中有广泛的应用。变压器就是利用互感现象制成的。

互感现象是一种常见的电磁感应现象，它不仅仅发生于绕在同一铁芯上的两个线圈之间，也可以发生于任何两个相互靠近的电路之间。在电力工程中和电子电路中，互感现象有时会影响电路的正常工作，这时要设法减小电路间的互感。

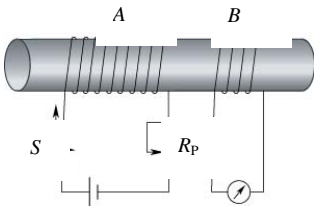


图 8-59 两个线圈间的互感

变压器的工作原理

变压器的结构如图 8-60 所示。它由闭合的铁芯和绕在铁芯上的两个线圈组成。两个线圈是用绝缘导线（即包有绝缘层的导线）绕制而成，铁芯由涂有绝缘漆的硅钢片叠合而成。

两个线圈分别叫原线圈和副线圈，其中原线圈是与电源相连的，副线圈是与负载相连的。

如图 8-61 所示，原线圈中的交变电流在铁芯中产生了变化的磁通量，这个变化的磁通量同样也穿过副线圈，从而在副线圈中产生了感应电动势。如果把负载接在副线圈两端，在副线圈和负载构成的回路中就有电流通过，这时的副线圈是作为电源来使用的。

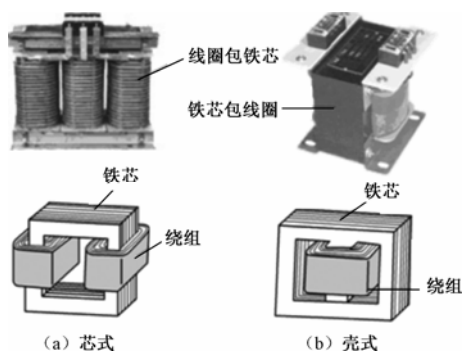


图 8-60 变压器芯式和壳式结构

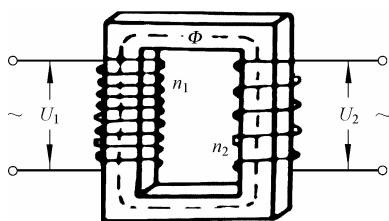


图 8-61 变压器的工作原理

假设原、副线圈两端的电压分别是 U_1 和 U_2 ，原、副线圈的匝数分别是 n_1 和 n_2 ，对于可以忽略原、副线圈的电阻和各种电磁能量损失的理想变压器来说，原、副线圈的磁通量总是相同的，根据法拉第电磁感应定律可知，原、副线圈两端的电压之比等于它们的匝数之比，即

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

社会调研

各种电动机、变压器都是利用互感原理工作的。但对电路来说，互感也有不利的一面。例如在有些电路中，若线圈的位置放置不当，各线圈产生的磁场就会相互干扰，严重时会使整个电路无法工作。由于受到设备或仪器体积的限制，加大线圈间的距离的办法是行不通的。应将两个线圈如何放置，才能使两线圈的互感最小呢？

想想练练

1. 什么是自感、互感现象？
2. 简述日光灯与变压器的工作原理。
- 3*. 为了安全，机床上照明电灯用的电压是 36 V，这个电压是把 220 V 的电压降压后得到的。如果变压器的原线圈是 1140 匝，能量损失不计，副线圈应该是多少匝？

8.8★ 电磁振荡 电磁波

目标要求

了解麦克斯韦电磁场理论，能简述麦克斯韦电磁场理论的两个基本论点；了解电磁振荡的概念，知道 LC 振荡电路的固有周期和固有频率；了解电磁波的基本特点，知道电磁波在真空中的传播速度。了解电磁波的产生、发射和接收的原理。

电磁波现已广泛地应用在工农业、国防和科研，以及人们日常生活等各个方面；无线

广播、电视、手机通信等，都是利用电磁波来实现的。那么，什么是电磁波？它是怎样产生和传播的呢？本节将在电磁感应的基础上研究这些问题。

麦克斯韦的电磁场理论

变化的磁场产生电场 我们知道，闭合电路中有变化的磁场，电路里将会产生感应电流，如图 8-62 (a) 所示。麦克斯韦从场的观点认为，电路产生电流，是因为变化的磁场产生了电场，这个电场驱使电荷做定向移动，从而产生电流。他把这种观点推广到不闭合电路的情形，认为变化的磁场周围空间就存在电场，均匀变化的磁场产生恒定的电场；非均匀变化的磁场产生变化的电场，如图 8-62 (b) 所示。

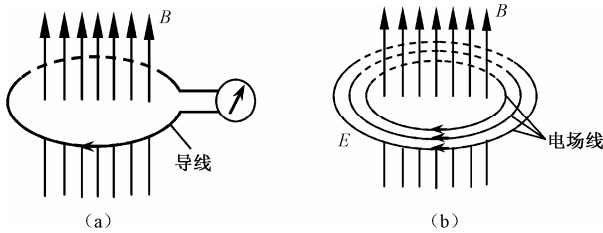


图 8-62 变化的磁场产生电场

变化的电场产生磁场 麦克斯韦认为，既然变化的磁场可以产生电场，那么变化的电场也一定能产生磁场。均匀变化的电场产生恒定的磁场；非均匀变化的电场会产生变化的磁场。

电磁波 根据上述两个论点可推断出：如果在空间某区域中存在变化的电场，那么这个变化的电场就会在它周围空间产生变化的磁场；同样，变化的磁场又在它周围空间中引起新的变化的电场……于是，变化的电场和变化的磁场交替产生，形成统一的电磁场，由近向远传播（如图 8-63 所示）。

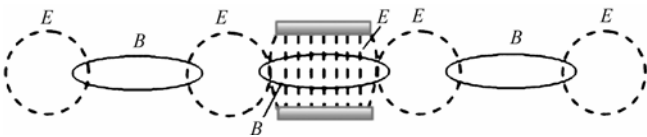


图 8-63 电磁场传播示意图

变化的电场和变化的磁场交替产生，并由发生区域向周围空间传播，这种传播过程也是波动过程。这种电磁场由近及远的传播叫做电磁波。

电、磁、光的统一 麦克斯韦通过计算得出，电磁波的传播速度等于光速，从而预言了光是电磁波的一种。这一预言将电、磁、光的现象统一起来，是牛顿力学以后物理学领域又一次大的综合。

想一想

麦克斯韦关于电磁场理论的论点是什么？麦克斯韦的电磁场理论是怎样说明电磁波存在的？

电磁振荡

电磁振荡的产生 把自感线圈 L 、电容器 C 、电流表 G 和电源 E 和单刀双掷开关 S 接成如图 8-64 所示的电路。先把开关 S 与电源相接，给电容器 C 充电；然后再把开关扳到线圈 L 一边，让电容器通过线圈放电，就会看到电流表指针在左右摆动，这表明电路里产生了

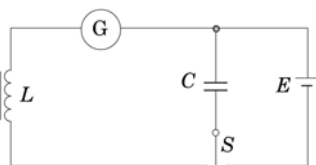


图 8-64 LC 振荡电路

大小和方向作周期性变化的电流。这种大小和方向作周期性变化的电流叫做**振荡电流**；能够产生振荡电流的电路叫做**振荡电路**。图 8-64 中由自感线圈 L 和电容器 C 组成的振荡电路叫做 **LC 振荡电路**。

在 LC 振荡电路中，振荡电流是怎样产生的呢？

把开关扳到电源一边，电源给电容器充电。在电容器充完电后，把开关扳到线圈一边，这时电容器里的电场最强，电路中的能量全部是储存在电容器中的电场能，如图 8-65 (a) 所示。

此后，电容器开始放电，电路里有放电电流。由于线圈的自感作用，电流不能立刻达到最大值。随着线圈里的电流逐渐增强，线圈周围的磁场也逐渐增强，同时，电容器极板上的电荷逐渐减少，电容器的电场逐渐减弱，其电场能逐渐减少，电路的电场能逐渐转变成磁场能。当电路里放电电流达到最大值的瞬间，电容器放电完毕，电场消失，线圈周围磁场达到最大强度，电场能全部转变为磁场能，如图 8-65 (b) 所示。

电容器放电结束时，由于线圈的自感作用，电路里的电流并不立刻停止，而是保持原来的方向继续流动。这个电流使电容器反方向重新充电。在反方向充电过程中，随着电流的减小，线圈周围的磁场逐渐减弱。同时，电容器两极板带上相反的电荷，电容器内产生反方向的电场，并随着极板上电荷的增多而增强。在这个过程中，电路的磁场能逐渐转变成电场能。当电流减小到零的瞬间，磁场消失，电场达到最大强度，磁场能全部转变为电场能，如图 8-65 (c) 所示。

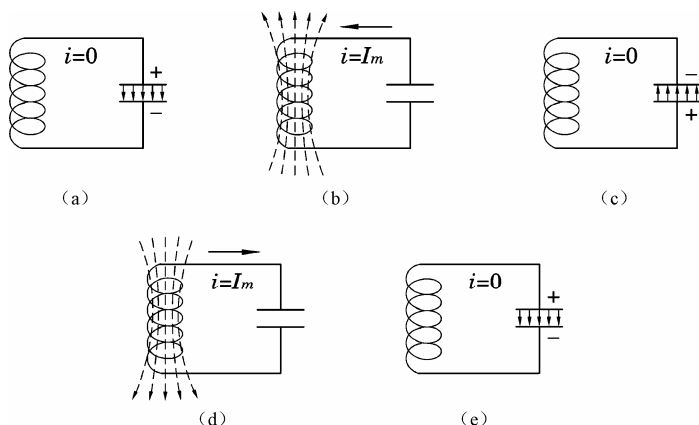


图 8-65 电磁振荡的过程

接着，电容器又重新放电，产生反方向的放电电流，随着电容器极板上的电荷减少，电场能逐渐转变为磁场能。当反方向的放电电流达到最大值的瞬间，电场消失，线圈周围反方向的磁场达到最大强度，电场能全部转变为磁场能，如图 8-65 (d) 所示。

然后, 又是给电容器充电的过程, 磁场能又转变为电场能, 如图 8-65 (e) 所示。

上述过程反复循环, 电路中就出现了振荡电流。在振荡电路内产生振荡电流的过程中, 电容器极板上的电荷和与电荷相联系的电场, 通过线圈的电流和与电流相联系的磁场都发生周期性的变化, 这种现象叫做**电磁振荡**。

电磁振荡的周期和频率 电磁振荡完成一次周期性变化需要的时间叫做一个**周期**, 振荡电流在 1s 内完成周期性变化的次数叫做**频率**。振荡电路中发生电磁振荡时, 如果没有能量损失, 也不受外界的影响, 这时电磁振荡的周期和频率叫做振荡电路的固有周期和固有频率, 简称振荡电路的周期和频率。

社会调研

收集资料, 了解电磁波在生活中的应用, 以及对人类生产、生活的影响。

阅读材料

LC 电路的振荡周期和频率与哪些因素有关?

电容 C 增大时, 电容器充电、放电的时间长些还是短些? 线圈自感系数 L 如果较大时, 电容器充电、放电的时间长些还是短些?

根据上面的讨论结果, 定性地讲, LC 电路的周期 (频率) 与电容 C 、电感 L 的大小有什么关系?

理论分析表明, LC 电路的周期 T 与自感系数 L 、电容 C 的关系是

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

由于周期跟频率互为倒数, 即 $f = \frac{1}{T}$, 所以

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

由以上两式可知, 振荡电路的固有周期和固有频率取决于电路中线圈的自感系数和电容器的电容。适当地选择电容器和线圈, 就可以使振荡电路的周期和频率符合我们的需要。也可以用可变电容器或可变电感的线圈组成电路。当改变电容器的电容或线圈的电感时, 振荡电路的周期和频率也会随着改变。

电磁波的发射和接收

电磁波的发射 从麦克斯韦的电磁场理论知道, 只要空间某个区域有振荡的电场或磁场, 就会产生电磁波。

电磁波由振荡电路向空间传播时, 电磁场的能量也一起传播。所以, 振荡电路发射电磁波的过程, 也是向外辐射能量的过程。

在普通的电容器和线圈组成的振荡电路中, 电场几乎完全集中在电容器的极板之间, 磁场也主要集中在自感线圈内部。在振荡过程中, 电场能和磁场能主要是在电路内互相转变, 辐射出去的能量极少, 这种电路实际上是不能用来发射电磁波的。为了发射电磁波,

必须尽可能地使电场能和磁场能向周围空间辐射，因而就要改造图 8-66 (a) 中的振荡电路，像图 (b) 和图 (c) 那样，增大电容器极板间的距离，使电场和磁场敞露于外部空间，这样的振荡电路叫做**开放电路**。

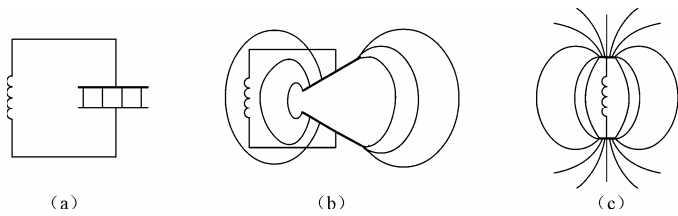


图 8-66 由闭合电路变成开放电路

实际应用中的开放电路，线圈的一端用导线与大地连接，这条导线叫做地线；线圈的另一端与高高地架在空中的天线相连。电磁波就是由这样巨大的开放电路发射出去。

理论和实践都已证明，振荡频率高的电磁波，辐射能量的本领强，发射电磁波的本领大，这就是电磁波发射采用高频的原因。

电磁波的接收 电磁波在空间传播时，如果遇到导体，就会在导体中产生与电磁波频率相同的感应电流。因此，放在电磁波传播空间中的导体可以用来接收电磁波，这就是接收天线。

当接收电路的固有频率与收到的电磁波的频率相同时，接收电路中产生的振荡电流最强，这种现象叫做电谐振，相当于机械振动中的共振。

社会调研

通过参观电视台或收集资料，了解广播电台和电视台是怎样利用电磁波传递声音和图像的。

想想练练

- 1. 试述麦克斯韦电磁场理论的基本要点。
- 2. 什么是电磁波？其传播速度是多少？你能否用实验说明电磁波的存在？
- 3. 什么是电磁振荡？ LC 振荡电路的周期和频率与哪些因素有关？写出决定周期和频率大小的公式。
- 4. 什么叫开放电路？为什么发送电磁波要用开放电路？

阅读材料

电磁波的传播

无线电波的传播有天波、地波和直线传播三种形式。

在离地面 60~400km 的大气层中，一部分气体发生电离，形成电离层。无线电波到达电离层时，长波、中波被吸收，微波则能穿过电离层，进入宇宙空间，而短波被反射返回地面。这种依靠电离层的反射来传播的无线电波叫天波（图 8-67）。天波的传播距离可达数千千米。

长波和中波的波长较长，地面上的障碍物一般又不太大，当波长大于或相当于障碍物的尺寸时，无线电波可以绕到障碍物的后面，沿着地表的空间传播。以这种形式传播的无线电波叫地波（图 8-68）。由于地面要吸收无线电波的能量，因此地波不能传播很远，一般在几百千米的范围内。收音机中波段一般只能收到本地或邻近省市的电台信号，就是这个原因。

微波又叫超短波，它能穿过电离层，成为地面和航天器联系的重要工具。在地球上，它不能以地波的形式传播，只能像光一样，沿着直线传播。这种沿直线传播的无线电波叫空间波（图 8-69）。由于地球是圆的，微波沿直线传播的距离不远，一般只有几十千米。为了传播远距离的无线电信号，可设立微波中继站，一站一站把信号传递到远方。现在，可以用同步通信卫星传送微波。同步通信卫星在赤道上空 35900km 的高空与地球自转同步。用它作中继站，只要三颗卫星，就可以将微波信号传送到地球上的每个角落。

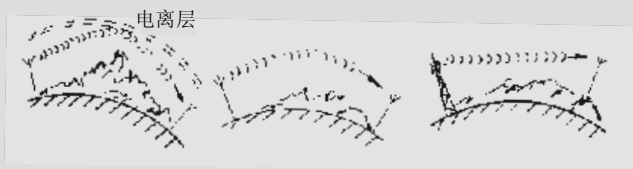


图 8-67 天波

图 8-68 地波

图 8-69 空间波

本章小结

本章主要讲述了磁场的描述与性质，然后学习了电磁感应现象，进而学习了相关的应用。

1. 磁场、磁场方向、磁感线、磁感强度、匀强磁场、磁通量的概念。
2. 电流（通电直导线，环形电流与通电螺线管）周围存在磁场——电流的磁效应，安培定则。磁现象的电本质和铁磁材料。
3. 磁场对电流的作用力——安培定律 $F=BIL$ ，左手定则；磁场对通电线圈的作用，电磁转矩 $M=nBIS$ ，磁电式电表工作原理。磁场对运动电荷的作用力——洛伦兹力 $F=qvB$ ，显像管工作原理。
4. 电磁感应现象，感生电流、感生电动势 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，部分导体切割磁感线运动的电动势 $E=BLv$ ，右手定则。
5. 自感现象，自感电动势（ $E=L\frac{\Delta I}{\Delta t}$ ），自感系数（自感）及日光灯工作原理。互感现象及变压器工作原理。
6. 麦克斯韦电磁场理论，电磁振荡、电磁波的发射与接收。

第 9 章 光现象及应用



光给了人们一个明亮的世界，可人类对它的认识，在很长时期内却一直不清晰。光学既是物理学中一门老的基础科学，又是现代科学领域中最活跃的前沿科学之一，具有强大的生命力和不可估量的发展前景。

本章将从光的折射和全反射的角度了解光在现代生活及科学技术领域中的一些应用。

9.1 光的全反射

目标要求

认识光的全反射现象，了解光导纤维的工作原理及其在生产、生活中的应用。

目前，光导纤维传输信息以其容量大、衰减小、保真度高等优点得到了迅速发展和广泛应用。那么，它的原理是什么呢？

光的折射

在初中我们知道，光在一种介质中沿直线传播。当光斜射到两种介质的分界面时，有一部分光线将返回原来的介质中，而另一部分光线将进入另一种介质，并且光的传播方向发生了偏折（如图 9-1 所示）。光从一种介质进入另一种介质，传播方向发生改变的现象，叫做光的折射。

由光路图我们可以看出，当光由介质 I 射入介质 II 时，入射角 α 大于折射角 β ，此时，介质 I 叫光疏介质，而介质 II 叫做光密介质。也就是说，光由光疏介质射入光密介质时，折射角小于入射角；光由光密介质射入光疏介质时，折射角大于入射角。

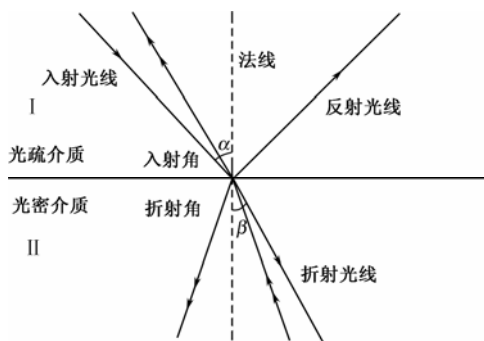


图 9-1 光的反射与折射

光的全反射

由于光从光密介质射向光疏介质时，折射角大于入射角，由此可以预测，当入射角增大到一定程度时，折射角就会增大到 90° ，如果再增大入射角，会出现什么情况呢？

实验探究

如图 9-2 所示，让光沿着半圆形玻璃砖的半径射到它的平直的边上，在这个边与空气的界面上会发生反射和折射，逐渐增大入射角，观察反射光线和折射光线的变化。

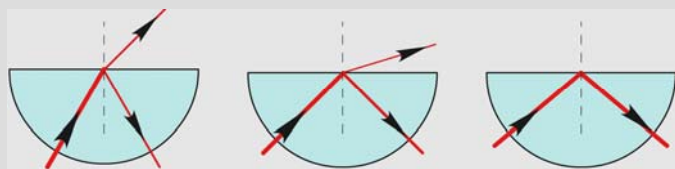


图 9-2 研究光的全反射

由实验可知，当光从光密介质（玻璃）射入光疏介质（空气）时，一部分光从玻璃砖平直的边上折射到空气中，另一部分光反射回玻璃内，逐渐增大入射角，将会看到折射光偏离越来越远，而且越来越弱，反射光却越来越强，当入射角增大到某一角度时，使折射角等于或超过 90° 时，折射光完全消失，这种现象叫做**光的全反射现象**。这时的入射角叫做**临界角**。

当光从光密介质射入光疏介质时，如果入射角等于或大于临界角，就会发生全反射现象。

全反射是自然界中常见的现象。例如，水中或玻璃中的气泡，看起来特别明亮，就是因为光从水或玻璃射向气泡时，一部分光在界面上发生了全反射的缘故。

光导纤维

光导纤维（简称光纤）就是全反射原理的典型实际应用。

如图 9-3 所示，当光在玻璃棒内传播时，如果从玻璃射向空气的入射角大于临界角，光会发生全反射。于是光在玻璃棒内沿着锯齿形路线传播，这就是光导纤维导光的原理。

光导纤维是由两种或两种以上折射率不同的透明材料通过特殊复合技术制成的复合纤维。光导纤维由内芯和外涂层组成，如图 9-4 所示。光导纤维的芯材料是光密介质，而涂层材料是光疏介质。

光导纤维在生产生活中主要有以下应用。

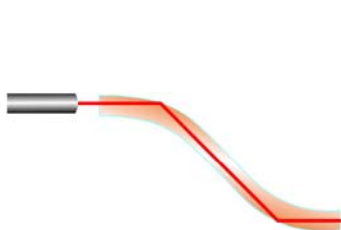


图 9-3 激光在有机玻璃中的传播

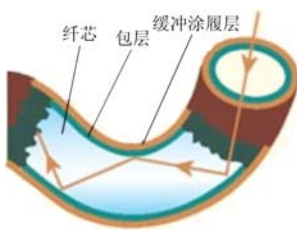


图 9-4 光纤结构

光纤通信——信息高速公路

光纤通信是以光波作为信息载体，以光纤（如图 9-5 所示）作为传输媒介的一种通信方式。

光纤通信最主要的优点是：（1）容量大。光纤工作频率比目前电缆使用的工作频率高出 $8\sim 9$ 个数量级，故所开发的容量很大。（2）衰减小。光纤每千米衰减比目前容量最大的通信同轴电缆的每千米衰减要低一个数量级以上。（3）体积小，重量轻。同时有利于施工和运输。（4）防干扰性能好。光纤不受强电干扰、电气化铁道干扰和雷电干扰，抗电磁脉

冲能力也很强，保密性好。(5) 节约有色金属。一般通信电缆要耗用大量的铜、铝或铅等有色金属。光纤本身是非金属，光纤通信的发展将为国家节约大量有色金属。(6) 成本低。目前市场上各种电缆金属材料价格不断上涨，而光纤价格却有所下降。这为光纤通信得到迅速发展创造了重要的前提条件。

医用内窥镜

利用光导纤维制成的医用内窥镜（图 9-6），可以用于食道、直肠、膀胱、子宫、胃等深部探查，探查时不必切开皮肉而直接插入身体内部。现在所用的切除癌瘤组织的外科手术激光刀，就是由光导纤维将激光传递至手术部位进行操作的。

照明和光能传送

利用光导纤维可以实现一个光源多点照明（图 9-7），光缆照明，可利用塑料光纤光缆传输太阳光作为水下、地下照明。由于光导纤维柔软易弯曲变形，可做成任何形状。由于其耗电少、光质稳定、光泽柔和、色彩广泛，是未来的最佳灯具，如果与太阳能的利用结合起来将成为最经济实用的光源。高层建筑、礼堂、宾馆、医院、娱乐场所甚至家庭都可直接使用光导纤维制成的天花板或墙壁，以及彩织光导纤维字画等，也可用于道路、公共设施的路灯、广场的照明和商店橱窗的广告。此外，还可用于易燃、易爆、潮湿和腐蚀性强的环境中，以及不宜架设输电线及电气照明的地方作为安全光源。



图 9-5 光纤纤维



图 9-6 医用内窥镜

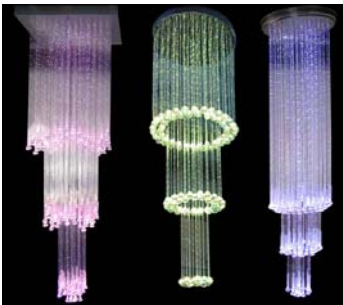


图 9-7 光纤灯

光纤服装

法国一家公司首创了光纤喷砂打磨技术。用该方法处理后，可使激光沿着光导纤维传播而不受其包裹在外层的有反光作用的护套的影响。用这种光导纤维编织成的布料可通过发光传递信息，这些信息在黑暗里或者浓烟密布的情况下，可起到很大的救生作用。若用光导纤维织物制作带传感器的消防服，则其上的传感器装置可探测出化学危害并通过发光显示，以警示附近其他人员。若特种部队穿上这种面料制成的迷彩服，真成了“变色龙”。

想想练练

- 1. 人看到沉在水杯底的硬币，其实看到的是（ ）。
A、硬币的实像，其位置比硬币实际所在位置浅

B、硬币的实体，其位置即硬币的实际位置

C、硬币的虚像，其位置比硬币的实际位置浅

D、硬币的虚像，其位置比硬币的实际位置深

2. 甲在岸上，乙潜入清澈的水中，二人互相对看，甲、乙看到对方的头部位置是（ ）。

A、都比实际位置高

B、都比实际位置低

C、甲看乙低，乙看甲高（与实际位置比较）

D、甲看乙高，乙看甲低（与实际位置比较）

3. 插入水中的筷子，水里部分从水面斜着看起来是（ ）。

A、向上曲折

B、向下曲折

C、没有变化

D、与水对光线的反射有关，难以确定

4. 在下列现象中，哪个属于光的折射现象（ ）。

A、司机从观后镜中观看车后的情况

B、白光通过三棱镜后出现七色光

C、在河边可以看到树的倒影

D、物体通过凸透镜可产生像



阅读材料

海市蜃楼

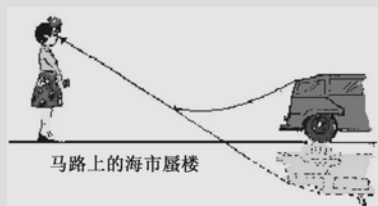


图 9-8 海市蜃楼

如图 9-8 所示，炎热的夏天，当我们骑着自行车，顶着烈日，沿着灼热的沥青路面前进的时候，会突然发现前面出现了一大片水塘，水面像镜子一样闪着光，还映出了汽车的倒影。可是当我们接近水塘的时候，又发现，这是一片毫无水迹的干地。这种现象我们称为海市蜃楼。

这是怎么回事呢？

原来是热空气耍的把戏。黑色的沥青路面，吸收了大量太阳光的热，然后又向四周辐射出去，在接近路面的地方就形成了一个热空气层，上面则是渐渐变凉的空气。光在冷空气中的传播速度比在热空气中要稍稍慢一些。冷热空气相比较，冷空气是光密介质，热空气是光疏介质。光从光密介质射向光疏介质的时候有可能发生全反射。在马路的前方，远处物体（汽车、树木、行人）射来的光线从冷空气射向热空气的时候，角度往往是非常倾斜的，这就具备了全反射的条件。全反射使热空气层就像镜面一样映出了远处汽车、行人和天空的倒影。

9.2 激光的特性及应用

目标要求

了解激光的特性；认识激光在生产、生活中的应用。

能够发光的物体叫做光源。太阳、恒星、萤火虫等是天然光源，而蜡烛、日光灯、发光二极管等则属于人造光源。光源是把其他形式的能量转化为光能的物体或装置。本节要研究的激光就是人造光源的一种。

激光的特性

虽然激光和普通光源发出的光都是电磁波，但是由于它们的产生机制不同，两者的性能有很大的区别。一般物体发出的光，频率是复杂多样的；而激光，是由光源物质受激发而产生的，其频率是确定单一的。激光的发射原理及产生过程的特殊性决定了激光具有普通光所不具有的特点。

单色性 普通光源发射的光子，在频率上是各不相同的，所以包含有各种颜色。而激光器发射的各个光子频率相同，因此激光是最好的单色光源。

激光的单色特性在光谱技术及光学测量中得到了广泛应用，已成为基础医学研究与临床诊断的重要手段。

方向性 所谓激光的方向性好，是指激光器发出的光束在空间方向上高度集中，或者说激光束具有高度的准直性。

由于激光束的方向性好，激光能量能在空间高度集中，从而可将激光束制成激光手术刀。

相干性 由于受激辐射的光子在频率、偏振状态和传播方向都相同，所以激光的空间相干性很好（由自发辐射产生的普通光是非相干光）。激光为我们提供了最好的相干光源。

高亮度 由于激光是受激辐射而得到加强的光，其亮度可比普通光源高出 $10^{12} \sim 10^{19}$ 倍，是目前最亮的光源，强激光甚至可产生上亿度的高温。激光的高能量以及其方向性好是保证激光临床治疗有效的最可贵的基本特性。利用激光的高能量还可使激光应用于激光加工工业及国防事业等。

激光的应用

世界上第一台激光器诞生于 1960 年。近 50 年来，激光技术的应用发展迅猛，已与多个学科相结合形成多个应用技术领域，比如光电技术，激光医疗与光子生物学，激光加工技术，激光检测与计量技术，激光全息技术，激光光谱分析技术，非线性光学，超快激光学，激光化学，量子光学，激光雷达，激光制导，激光分离同位素，激光可控核聚变，激光武器，等等。这些交叉技术与新的学科的出现，大大地推动了传统产业和新兴产业的发展。

近年来，激光技术发展的速度十分惊人，应用的范围不断拓展，如激光保鲜、激光育种、激光医疗、激光美容等，已成为科技人员研究的热门领域。

激光技术与产业的发展将支撑并推进高速、宽带、海量的光通信以及网络通信，并将引发一场照明技术革命，小巧、可靠、寿命长、节能半导体将主导市场，此外将推出品种繁多的光电子消费类产品（如数码相机、新型彩电、掌上电脑、电子产品、智能手机、手持音响播放设备）、办公自动化光电设备（如激光打印、传真和复印等）以及新型的信息显示技术产品（如平板显示器等），并进入人们的日常生活中。激光产品已成为现代武器的“眼睛”和“神经”，光电子军事装备将改变未来战争的格局。

现代生活中，人们越来越注重美的追求。于是，激光美容应运而生。当有的人为脸上的疤痕、色斑而烦恼时，激光可以为你解忧。这种激光治疗系统利用皮肤中不同颜色的组织对激光波长的选择吸收的特点，在基本不破坏正常组织的情况下，对皮肤中的黑色素在极短的瞬间用极高峰值的脉冲激光进行照射，使之发生迅速的热膨胀和粉碎，最后由吞噬细胞运走并排出体外，疤痕和色斑就会慢慢消失。

激光站在当代科学技术的前沿，必将照亮我们现代生活的各个方面。



想想练练

1. 激光的特性是什么？
2. 你还知道激光有哪些应用？



阅读材料

生活中的激光

激光素有神奇之光的美称。如今，你只要稍加留意，就会发现激光就在我们身边：激光唱机的动听乐曲不断回荡在楼宇之间；激光影碟机悄然走进了千家万户；商场里商品贴的是激光防伪标志；激光照排则包揽了所有的报刊杂志。我们远隔千里就可以同亲人朋友通话，也是激光的功劳，因为光纤传送的正是激光。激光雕刻细致入微，精确无比，可在钢板、水晶等高强度材料上雕刻，广泛应用于工业打标、激光成型、礼品标牌。

9.3★★ 现代通信技术简介

目标要求

简单了解现代通信技术和现代通信手段；简单了解卫星通信、光纤通信、移动通信和计算机通信的特点。

卫星通信

自 1957 年前苏联发射第一颗人造地球卫星以来,人造卫星即被广泛应用于通信、广播、电视等领域。

所谓**卫星通信**,就是先将信号转换成微波发射到地球同步卫星上,然后通过地球同步卫星转发信号,从而将信号覆盖面扩大,达到信号的传输。卫星通信系统由卫星和地球站两部分组成。卫星在空中起中继站的作用,即把地球站发上来的电磁波放大后再返送回另一地球站;地球站则是卫星系统与地面公众网的接口。

卫星通信的特点 卫星通信的通信范围大,只要在卫星发射的电波所覆盖的范围内,任何两点之间都可进行通信;可靠性高,不易受陆地灾害的影响;开通电路迅速,只要设置地球站电路即可开通;多址连接,电路设置非常灵活,可随时分散过于集中的话务量;同一信道可用于不同方向或不同区间;因此卫星通信应用极其广泛。但卫星通信也存在不足之处:由于两地球站间电磁波传播距离有 72000km,信号到达有延迟;而且 10GHz 以上信号易受雨雪的影响。

近年来卫星通信新技术的发展层出不穷。例如甚小口径天线地球站系统,中低通道的移动卫星通信系统等都受到了人们广泛的关注和应用。卫星通信也是未来全球信息高速公路的重要组成部分。图 9-9 为通信卫星。

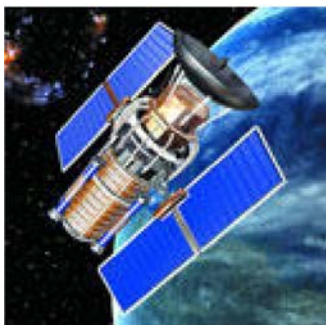


图 9-9 通信卫星

移动通信

所谓移动通信就是移动体之间的通信,或移动体与固定体之间的通信。移动体可以是人,也可以是汽车、火车、轮船等在移动状态中的物体,如图 9-10 所示的手机就是常见的移动通信工具。

移动通信与固定物体之间的通信比较起来,具有一系列的特点,主要有:(1)移动性。就是要保持物体在移动状态中的通信,因而它必须是无须通信,或无线通信与有线通信的结合。(2)电波传播条件复杂。因移动体可能在各种环境中运动,电磁波在传播时会产生反射、折射、绕射、多普勒效应等现象,产生多径干扰、信号传播延迟和展宽等效应。(3)噪声和干扰严重。在城市环境中的汽车火花噪声、各种工业噪声,移动用户之间的互调干扰、邻道干扰、同频干扰等。(4)



图 9-10 手机

系统和网络结构复杂。它是一个多用户通信系统和网络，必须使用户之间互不干扰，能协调一致地工作。此外，移动通信系统还应与市话网、卫星通信网、数据网等互连，整个网络结构很复杂。(5) 要求频带利用率高、设备性能好。

近几年来，全球通信技术的发展日新月异，尤其是近几年来，无线通信技术的发展速度与应用领域已经超过了固定通信技术，呈现出如火如荼的发展态势。其中最具代表性的有蜂窝移动通信、宽带无线接入，也包括集群通信、卫星通信，以及手机视频业务与技术。

计算机通信

计算机通信是计算机技术和通信技术相结合的一种新型通信方式。它将不同地理位置、具有独立功能的多台计算机、终端及附属设备用通信线路连接起来，并配备相应的网络软件，以实现通信过程中资源共享而形成的通信系统。它不仅可以满足局部地区的一个企业、公司、学校和办公机构的数据、文件传输需要，而且可以在一个国家甚至全世界范围进行信息交换、储存和处理，同时可以提供语音、数据和图像的综合性服务，具有诱人的发展前景。

目前，计算机网络和数据通信发展迅速，各国都通过建成的公用数据通信网享用各数据库资源和网络设备资源。为发展高新技术和国民经济服务。计算机通信技术、数据库技术及基于两者基础上的联机检索技术已广泛应用于信息服务领域。从报刊、人工采集、会员单位组织的传统信息服务方式正逐步被以数据库形式组织的信息通信计算机网络供用户联机检索所代替。信息量和随机性增大，信息更新加快，信息价值明显提高，信息处理和利用更加方便。因此，计算机网络通信系统是信息社会的显著标志，在信息处理和传递中占重要位置。

卫星定位系统

生活中我们要确定地理位置，一般都要利用参照物，比如：天安门的位置可以用“长安街的北侧，中山公园的东侧”来描述。但是，在茫茫大海或无人沙漠中，想确定一艘船或一辆车的位置，就没法找到参照物了。

为此，人类发明了经纬度的概念，以确定地球上任一点的水平位置。但是，不管是航行在大海中的船，行走在沙漠中的骆驼，还是奔驰在公路上的汽车，我们怎么知道它们的经纬度呢？

这就要用到卫星定位系统。即全球定位系统 (Global Positioning System)，简称 GPS。简单地说，这是一个由覆盖全球的 24 颗卫星组成的卫星系统。这个系统可以保证在任意时刻，地球上任意一点都可以同时观测到 4 颗卫星，以保证卫星可以采集到该观测点的经纬度和高度，以便实现导航、定位、授时等功能。这项技术可以用来引导飞机、船舶、车辆以及个人，安全、准确地沿着选定的路线，准时到达目的地。

GPS 全球卫星定位系统由三部分组成：空间部分 (GPS 星座)，地面控制部分 (地面监控系统)，用户设备部分 (GPS 信号接收机)。

全球定位系统具有全天候、全球覆盖、三维定速定时高精度、快速省时高效率、

应用广泛多功能、操作简便的优点。因此它广泛应用于为船舶，汽车，飞机等运动物体进行定位导航。



想一想

现代通信技术的发展给我们的生活带来了什么变化？



想想练练

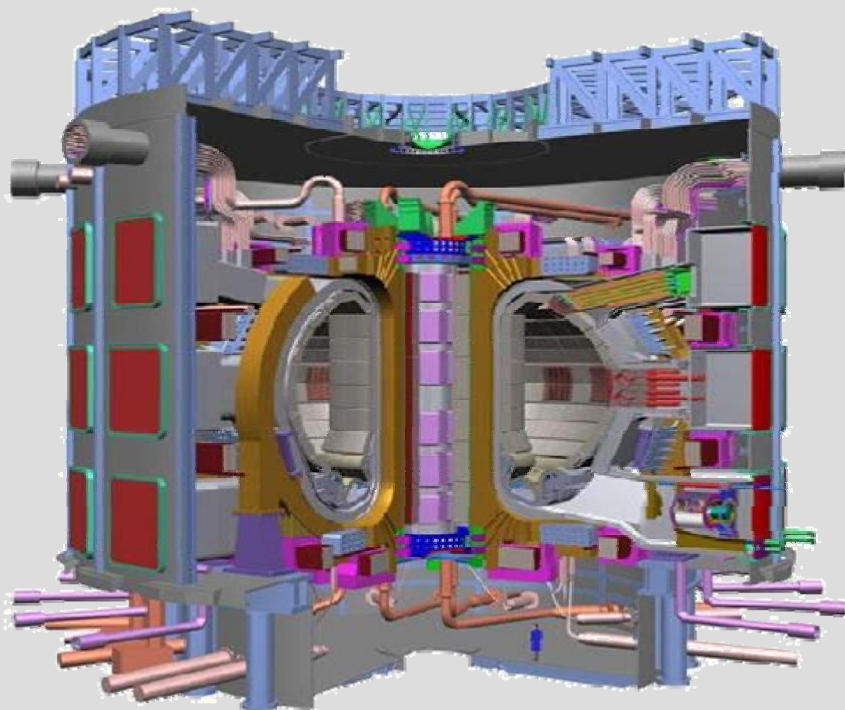
卫星通信、光纤通信、移动通信、计算机通信、卫星定位系统它们各自的特点是什么？

本章小结

本章主要讲述了光的全反射、激光的特性及相关应用。

1. 光的折射，光的全反射，光导纤维的原理和应用。
2. 激光的特性及其在现代生活中的应用。
3. 现代通信技术（卫星通信、移动通信与计算机通信）。

第 10 章 近代物理简介



核能是蕴藏在原子核内部的能量。核能的发现是人们探索微观物质结构的一个重大成果。现在我们通过多种方式利用核能，其中主要的途径是发电。核能的利用可以缓解常规能源的短缺。

通过本章的学习，我们将对原子结构和核能有更多的了解。

10.1 原子结构

目标要求

了解原子的核式结构及原子核的组成，了解天然放射现象，知道 α 射线、 β 射线、 γ 射线及其特性，知道放射性物质对生物体的作用，以及放射性物质的危害和防护。

原子的核式结构

在汤姆孙发现电子之后，对于原子中正负电荷如何分布的问题，科学家们提出了许多模型。其中最著名的是1903年，英国科学家汤姆孙提出的“葡萄干面包”模型，他认为：电子嵌在原子中，如同葡萄干嵌在面包中一样。汤姆孙的这个模型能够解释一些实验现象。但后来的一个实验却完全否定了汤姆孙的模型。

实验探究

1909年，英国的物理学家卢瑟福用一束高能的带正电的 α 粒子流轰击薄金箔时发现，绝大多数 α 粒子几乎不受阻碍而直接通过金箔，说明原子内部很空旷；也有极少数（约万分之几）的 α 粒子穿过金箔后发生偏转，个别 α 粒子偏转程度较大；有的 α 粒子甚至被金箔反弹回来（图10-1）。

1911年，卢瑟福根据 α 粒子散射实验提出了原子的核式结构模型：每个原子中心都有一个极小的原子核，几乎集中了原子的全部质量并带有正电荷。核外有电子绕核旋转，电子绕核如同行星绕日运行。因此，这一模型也被称为“行星式模型”。卢瑟福以这个模型为依据，利用经典力学计算了向各个方向散射的粒子的比例，结果与实验数据符合得很好。

原子核的组成 1919年，卢瑟福用 α 粒子轰击原子氮，从氮核中打出了一种新的粒子，根据这种粒子在电场和磁场中的偏转，测出了它的质量和电荷，原来它就是氢原子核，叫做**质子**，用 p 表示。以后，人们用同样的方法从氟、钠、铝等原子核中都打出了质子，从而人们认识到质子是原子核的组成部分。质子带正电荷，电荷量与一个电子所带的电荷量相等。质子的质量为

$$m_p = 1.6726231 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

原子核只由质子组成吗？如果原子核中只有质子，那么任何一种原子核的质量与电荷量之比，都应该等于质子与电荷量之比。实际并不是这样，绝大多数原子质量与电荷量之比都大于质子的相应比值。卢瑟福猜想，原子核内可能还存在着另一种粒子，它的质量与

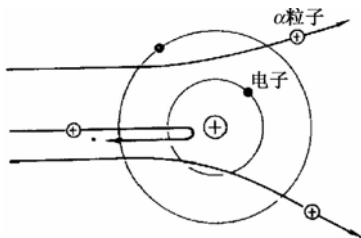


图 10-1 α 粒子流轰击金箔

质子相同，但是不带电，他把这种粒子叫做**中子**。1932 年，卢瑟福的学生查德威克通过实验证实了这个猜想。

中子不带电，用符号 n 表示，中子的质量是

$$m_n=1.6749286\times 10^{-27}\text{kg}$$

与质子的质量非常接近，只比质子质量约大千分之一。质子和中子除了是否带电的差异以及质量上的微小差别外，其余性质十分相似，而且都是原子核的组成成分，所以统称**核子**。由于中子不带电，原子核所带的电荷等于核内质子电荷的总和。所以原子核所带的电荷总是质子电荷的整数倍。通常用这个整数表示原子核的电荷量，叫做原子核的**电荷数**，用 Z 表示。原子核的质量等于核内质子和中子的质量总和，而质子与中子质量几乎相等，所以原子核的质量几乎等于单个质子的整数倍，这个倍数叫做原子核的**质量数**，用 A 表示。

原子核的电荷数就是核内质子数，也就是这种元素的原子序数，而原子核的质量数就是核内的核子数。

原子核通常用符号 ${}_Z^AX$ 表示， X 为元素符号，上角标 A 表示核的质量数，下角标 Z 表示核电荷数（即原子序数）。例如氦核可以表示为 ${}_2^4\text{He}$ ，它有 2 个质子和 2 个中子，所以电荷数是 2，质量数是 4。同样 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 代表一种铀核，它的电荷数为 92，质量数为 235，其核内有 92 个质子和 143 个中子。

天然放射现象

1895 年发现 X 射线后，法国科学家贝克勒耳在研究 X 射线与可见光的联系时，将硫酸铀盐晶体与照相底片放在一起，他惊奇地发现：未经阳光照射的铀盐也能使底片感光。后来他又做了一系列有关实验，1896 年贝克勒耳宣布，铀和含铀的矿物能发出某种看不见的射线，这种射线可以穿透黑纸使照相底片感光。

物质发射这种射线的性质，叫做**放射性**。具有放射性的元素，叫做**放射性元素**。

在贝克勒耳的建议下，居里夫妇对铀和钍的各种矿石进行了深入研究，并发现了两种放射性更强的新元素，即钋（Po）和镭（Ra）。

许多元素都有放射性，原子序数大于 83 的所有天然存在的元素都具有放射性。这种能自发地放出射线的现象叫做天然放射现象。

由于发现放射性现象和对放射现象的研究，1903 年贝克勒耳和居里夫妇一起获得诺贝尔物理学奖。

放射性元素放出的射线到底是什么呢？科学家为研究放射线的组成，采用如图 10-2 所示的装置来研究。在铅块窄孔的底部，放有放射性样品，孔的对面放着照相底片，没有电场时，底片显影后，正对窄孔有一个暗斑。如在底片与铅块间加一电场，显影后底片上出现 3 个暗斑，向负极偏转的射线带有正电且偏角较小，称为 **α 射线**；向正极偏转射线带负电且偏角较大，称为 **β 射线**；不发生偏转的射线不带电，称为 **γ 射线**。

α 射线具有较强的电离本领，但其穿透能力较差，在空气中只能前进几厘米，用一张纸就能把它挡住。后来科学家发现这种粒子流是氦原子核。

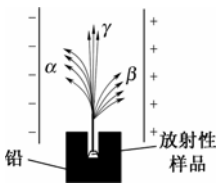


图 10-2 天然放射性

β 射线是高速电子流，速度接近光速，贯穿本领很大，能穿透几毫米厚的铝板，但电离能力较弱。

γ 射线是波长很短的电磁波，贯穿本领最强，能穿透几厘米厚的铅板，但电离能力最小。

三种射线都是从原子核中放射出来的，当放射性物质放射出 α 射线或 β 射线后，就变成新的原子核，我们把这种变化称为原子核的衰变。在原子核衰变时，一般伴有 γ 射线，因此在射线中同时有 α 、 β 、 γ 三种射线。放射线的发现揭示了原子核结构的复杂性，促使人们对它做进一步的研究。

在自然状态下，来自宇宙的射线和地球环境本身的放射性元素一般不会给生物带来危害。20世纪50年代以来，人的活动使得人工辐射源和人工放射性物质大大增加，环境中的射线强度随之增强，危及生物的生存，从而产生了放射性污染。放射性污染很难消除，射线强度只能随时间的推移而衰减。

大剂量的照射下，放射性对人体和动物存在着某种损害作用。如在400GY的照射下，受照射的人有5%死亡；若照射650GY，则人100%死亡。照射剂量在150GY以下，死亡率为零，但并非无损害作用，往往需经20年以后，一些症状才会表现出来。放射性也能损伤遗传物质，主要在于引起基因突变和染色体畸变，使一代甚至几代受害。



想想练练

1. 卢瑟福的“核式模型”是什么样的？
2. 汤姆孙模型为什么不能解释粒子的大角度散射？
3. 天然放射现象的发现对物质微观结构的研究有什么意义？

10.2 核能 核技术

目标要求

了解重核裂变和轻核聚变，了解核能发电的工作原理。

核能与质量亏损

质量亏损 如果把一个1kg重的西瓜和一个1kg重的南瓜放在一起称，质量肯定是2kg。但科学家发现，如果把1个单位质量的中子和1个单位质量的质子结合在一起，形成的原子核的质量并不等于2个单位质量。科学测量一再证实，任何一个原子核的质量总是小于组成这个核的质子和中子的单独质量之和。科学家把少掉的那部分质量称为原子核的**质量亏损**。

核能 20世纪初，爱因斯坦从相对论思想出发，导出了著名的质量、能量相互联系的关系式： $E = mc^2$ 。该式说明，物体的质量和能量相对应。由于原子核的质量比组成它的核子的总质量少，因此，在单个核子相互靠近而结合成原子核时，必定会有一部分能量释

放出来。这一发现使科学家们确信：只要能找到任何一种引起质量亏损的办法，人类就能从原子核里获得能量——这种原子能简称**核能**。

重核裂变 轻核聚变

重核裂变 1939 年，德国科学家奥托·哈恩发现了元素铀的同位素 ^{235}U 原子核在中子的轰击下分裂成两个新的中等原子核，同时放出能量（见图 10-3），这种反应只有一些质量比较大的原子核才能发生，这种反应叫**重核裂变**。很多重核同位素，如 ^{233}U , ^{239}Pu 等，都能产生核裂变反应。而核裂变反应放出的能量比化学反应大的多，这预示了核能利用的前景。

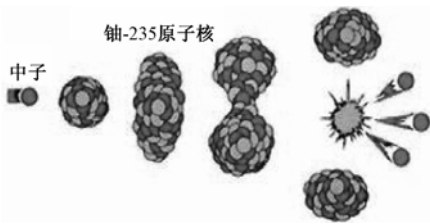


图 10-3 ^{235}U 裂变反应示意图

链式反应 ^{235}U 原子核在裂变后生成裂变碎片并同时放出 2~3 个中子，如果新产生的中子能够轰击其他的 ^{235}U 原子核并导致新的核裂变，裂变反应就可以不断持续下去，我们将这个过程形象地称作**链式反应**（如图 10-4 所示）。在不断的链式反应下，核能被源源不断地释放出来。

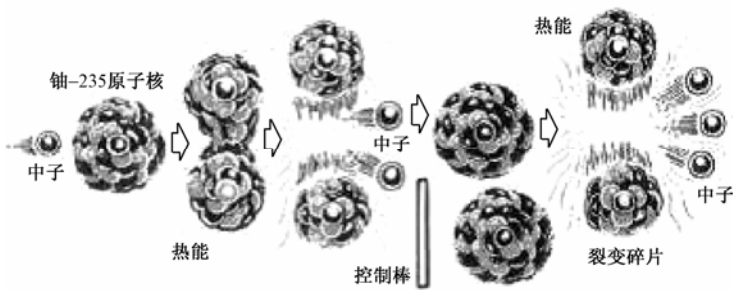


图 10-4 链式反应示意图

轻核聚变 除了重核裂变可以放出核能外，氢的同位素，如氘 (^2H) 的原子核在一定条件下也可以聚合成氦 (^4He) 原子核，同时放出能量，这也是核能的一种形式。这种由质量小的原子核（主要是指氘或氚），在一定条件下（如超高温和高压），发生原子核互相聚合作用，生成新的质量更大的原子核的反应叫做**轻核聚变**。

相比核裂变，核聚变几乎不会带来放射性污染等环境问题，而且其原料可直接取自海水中的氘，来源几乎取之不尽，是理想的能源方式。据科学家估计，以目前的能源利用规模，仅海洋中存在的聚变核素就可以供应人类上万年使用，这将彻底解决人类的能源问题。但目前人类离实现可控的核聚变，特别是达到商用水平，还有较大的距离，因而现在核能和平利用的方式主要是对裂变能的利用。

核电站

核能被发现以后，世界各国非常重视核能的利用。现在，和平利用核能的技术已成为一个国家综合国力的表现之一。1991年12月15日我国自行设计、建造的第一座核电站——秦山核电站并网发电，结束了中国无核电的历史，使我国成为世界上第三个拥有核技术的国家。

核电站（图 10-5）以核反应堆来代替火电站的锅炉，以核燃料在核反应堆中发生特殊形式的“燃烧”产生热量，来加热水使之变成蒸汽。蒸汽通过管路进入汽轮机，推动汽轮发电机发电。一般说来，核电站的汽轮发电机及电器设备与普通火电站大同小异，其奥妙主要在于核反应堆。

核电站除了关键设备——核反应堆外，还有许多与之配合的重要设备。以压水堆核电站为例，它们是主泵、稳压器、蒸汽发生器、安全壳、汽轮发电机和危急冷却系统等。它们在核电站中有各自的特殊功能。

主泵 如果把反应堆中的冷却剂比做人体血液的话，那主泵则是心脏。它的功用是把冷却剂送进堆内，然后流过蒸汽发生器，以保证裂变反应产生的热量及时传递出来。

稳压器 又称压力平衡器，是用来控制反应堆系统压力变化的设备。在正常运行时，起保持压力的作用；在发生事故时，提供超压保护。稳压器里设有加热器和喷淋系统，当反应堆里压力过高时，喷洒冷水降压；当堆内压力太低时，加热器自动通电加热使水蒸发以增加压力。

蒸汽发生器 它的作用是使通过反应堆的冷却剂将热量传给二回路水，并使水变成蒸汽，再推动汽轮发电机的汽缸做功。

安全壳 用来控制和限制放射性物质从反应堆扩散出去，以保护公众免遭放射性物质的伤害。万一发生罕见的反应堆一回路水外逸的失水事故时，安全壳是防止裂变产物释放到周围的最后一道屏障。安全壳一般是内衬钢板的预应力混凝土厚壁容器。

汽轮机 核电站用的汽轮发电机在构造上与常规火电站用的大同小异，所不同的是由于蒸汽压力和温度都较低，所以同等功率机组的汽轮机体积比常规火电站的大。

危急冷却系统 为了应付核电站一回路主管道破裂的极端失水事故的发生，近代核电站都设有危急冷却系统。它由注射系统和安全壳喷淋系统组成。一旦接到极端失水事故的信号后，安全注射系统向反应堆内注射高压含硼水，喷淋系统向安全壳喷水 and 化学药剂。便可缓解事故后果，限制事故蔓延。



图 10-5 核电站

想想练练

1. 什么是重核裂变？什么是轻核聚变？
2. 什么是链式反应？
3. 裂变和聚变有什么相同点？

10.3★★ 新能源的开发利用与节能

目标要求

了解太阳能、核能、风能、海洋能、地热能等新能源开发利用的意义、途径与前景；了解节能的重要性与途径。

众所周知，从人类学会利用火的时候，人类已经开始主动利用能源，自那时起，能源的使用已经变成人类进步不可或缺的基本要素和人类文明程度的一种标志。

太阳能的开发利用

长期以来，人们就一直在努力研究利用太阳能。我们地球所接受到的太阳能，只占太阳表面发出的全部能量的 20 亿分之一左右，这些能量相当于全球所需总能量的 3~4 万倍，可谓取之不尽，用之不竭。再者，太阳能和石油、煤炭等矿物燃料不同，不会导致“温室效应”和全球性气候变化，也不会造成环境污染。正因为如此，太阳能的利用受到许多国家的重视，大家正在竞相开发各种光电新技术和光电新型材料，以扩大太阳能利用的应用领域。特别是在近 10 多年来，在石油可开采量日渐见底和生态环境日益恶化这两大危机的夹击下，我们越来越企盼着“太阳能时代”的到来。从发电、取暖、供水到各种各样的太阳能动力装置，其应用十分广泛，在某些领域，太阳能的利用已开始进入实用阶段。如图 10-6、图 10-7 所示。



图 10-6 太阳能发电系统



图 10-7 太阳能路灯

太阳能既是一次能源，又是可再生能源。它资源丰富，既可免费使用，又无须运输，对环境无任何污染。太阳能的开发利用为人类创造了一种新的生活形态，使社会及人类进入一个节约能源减少污染的时代。

核能的开发利用

在核能被发现和得到利用前，人类所利用的主要能源方式是化学能和水能等。19 世纪末到 20 世纪初，物理学又得到了一次极大的发展，人类对物质结构的认识开始深入到原子甚至更微观的粒子水平，这客观上为人类利用核能奠定了基础。

核能首先被应用到了军事领域，如原子弹（图 10-8 为原子弹爆炸）和核潜艇等。不幸的是，1945 年美国投放到日本广岛和长崎市的原子弹造成了巨大的人员伤亡和物质毁坏，

这是导致许多人畏核与反核的重要原因之一。

第二次世界大战后，核能开始被用于和平事业。1954 年 6 月，前苏联建成了世界上第一座原子能发电站，尽管它只有 5000 千瓦的发电功率，但它揭开了人类和平利用核能的新纪元。核能发电作为一种新能源，受到了世界各国的重视。



图 10-8 原子弹爆炸

风能的开发利用

风是地球上的一种自然现象，它是由太阳辐射热引起的。阳光照射到地球表面，地球表面各处受热不同，产生温差，从而引起大气的对流运动形成风。

人类利用风能的历史可以追溯到公元前，但数千年来，风能技术发展缓慢，没有引起人们足够的重视。自 1973 年世界石油危机以来，在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下，风能作为新能源的一部分才重新有了长足的发展。风能作为一种无污染和可再生的新能源，有着巨大的发展潜力，特别是对沿海岛屿，交通不便的边远山区，地广人稀的草原牧场，以及远离电网和近期内电网还难以达到的农村、边疆，作为解决生产和生活



图 10-9 风力发电

能源的一种可靠途径，有着十分重要的意义。即使在发达国家，风能作为一种高效清洁的新能源也日益受到重视。

风能的一种很重要的应用就是发电，如图 10-9 所示。风力发电的原理，是利用风力带动风车叶片旋转，再通过增速机将旋转的速度提升，来促使发电机发电。依据目前的风车技术，大约 3m/s 的风速便开始发电。风力发电正在世界上形成一股热潮，因为风力发电没有燃料问题，也不会产生辐射或空气污染。

中国风能资源丰富，储量 32 亿千瓦，可开发的装机容量约 2.53 亿千瓦，居世界首位，具有商业化、规模化发展的潜力。

海洋能的开发利用

海洋能是海水运动过程中产生的可再生能，主要包括温差能、潮汐能、波浪能、潮流能、海流能、盐差能等。潮汐能和潮流能源自月球、太阳和其他星球引力，其他海洋能均源自太阳辐射。

海水温差能是一种热能。低纬度的海面水温较高，与深层水形成温度差，可产生热交换。其能量与温差的大小和热交换水量成正比。潮汐能、潮流能、海流能、波浪能都是机械能。

海洋能的蕴藏量大，并且可以再生不绝。估计地球上海水温差能可用功率达 10^{10} 千瓦数量级，潮汐能、波浪能、海流能、海水盐差能等可再生功率都达 10^9 kW 数量级。海洋能的分布不均、密度低。大洋表面层与 500~1000m 深层之间的较大温差仅 20℃ 左右，沿岸较大潮差约 7~10m，而近海较大潮流、海流的流速也只有 4~7 节；能量多变、不稳定。其中海水温差能、海流能和盐差能的变化较为缓慢，潮汐和潮流能则呈短时周期规律变化，波浪能有显著的随机性。

海洋能利用的关键环节是能量转换，不同形式的海洋能，其转换技术原理和装置也不同。

利用海洋能的工程设施，按其设置位置一般分为海滨式和海上式两类。前者是以滨海陆地或浅海水域为基地，后者是在深水海域设置浮式结构。海滨式和离岸近的海上式设施，可用海底电缆或压力管道将动力传输上岸；离岸远的海上设施，只能就地利用动力，如制氨或生产海水化工产品。目前在严重缺乏能源的沿海地区（包括岛屿），把海洋能作为一种补充能源加以利用还是可取的。从长远来看，海洋能的利用将成为世界新能源的重要方面。

地热能开发利用

地热能是来自地球深处的热能。它来源于地球的熔融岩浆和放射性物质衰变时释放的能量。地下水的深处循环和来自极深处的岩浆侵入到地壳后，把热量从地下深处带至近表层。在某些地方，热能随自然涌出的热蒸汽和水而到达地面，这种热能的储量相当大。

根据热资源的性质和储存状态，地热可分为五种类型：蒸汽型、热水型、地压型、干热岩型和岩浆型。前两类统称为水热型，是现在开发利用的主要地热资源，后两类属于潜在地热资源，地压型地热资源虽然生成条件不太普遍（往往在含油盆地深部），但其能量潜力巨大，且除热能外，往往还储存有甲烷之类的化学能及高压所致的机械能。

人类很早以前就开始利用地热能，例如利用温泉沐浴、医疗，利用地下热水取暖、建造农作物温室、水产养殖及烘干谷物等。但真正认识地热资源，并进行较大规模的开发利用却是始于 20 世纪中叶。

地热发电 是地热利用的最重要方式。地热发电和火力发电的原理是一样的，都是利用蒸汽的热能在汽轮机中转变为机械能，然后带动发电机发电。所不同的是，地热发电不像火力发电那样要装备庞大的锅炉，也不需要消耗燃料，它所用的能源就是地热能。地热发电的过程，就是把地下热能首先转变为机械能，然后再把机械能转变为电能的过程。要利用地下热能，首先需要有“载热体”把地下的热能带到地面上来。目前能够被地热电站利用的载热体，主要是地下的天然蒸汽和热水。按照载热体类型、温度、压力和其他特性的不同，可把地热发电的方式划分为蒸汽型地热发电和热水型地热发电两大类。

地热供暖 将地热能直接用于采暖、供热和供热水是仅次于地热发电的地热利用方式。因为这种利用方式简单、经济，备受各国重视，特别是位于高寒地区的西方国家，其中冰岛开发利用得最好。目前世界上两家最大的地热应用工厂是冰岛的硅藻土厂和新西兰的纸浆加工厂。我国利用地热供暖和供热发展也非常迅速，在京津地区地热供暖已成为地热利用中最普遍的方式。

地热务农 地热在农业中的应用范围十分广阔。如利用温度适宜的地热水灌溉农田，可使农作物早熟增产；利用地热水养鱼，在 28℃ 水温下可加速鱼的育肥，提高鱼的出产率；利用地热建造温室，育秧、种菜和养花；利用地热给沼气池加温，提高沼气的产量等。

地热行医 地热在医疗领域的应用有诱人的前景，目前热矿水就被视为一种宝贵的资源，世界各国都很珍惜。由于地热水从很深的地下提取到地面，除温度较高外，常含有一些特殊的化学元素，从而使它具有一定的医疗效果。如含碳酸的矿泉水供饮用，可调节胃

酸、平衡人体酸碱度；含铁矿泉水饮用后，可治疗缺铁贫血症；氢泉、硫水氢泉洗浴可治疗神经衰弱和关节炎、皮肤病等。由于温泉的医疗作用及伴随温泉出现的特殊的地质、地貌条件，使温泉常常成为旅游胜地，吸引大批疗养者和旅游者。在日本就有 1500 多个温泉疗养院，每年吸引 1 亿人到这些疗养院休养。

节能的意义与途径

面对经济高速发展的态势，能源供应难以满足迅速增长的需求，节能受到必要的重视。在当前形势下节能具有重要意义：

首先，节能是保障国家经济安全的必然选择。我国正处于经济高速发展的工业阶段，一方面能源资源相对不足，另一方面能耗高浪费大效率低下。我国要在 21 世纪中叶达到中等发达国家的水平，必须两条腿走路，一靠开发，二靠节约。

其次，节能是治理污染改善环境的最有效的途径。我们不仅要解决现实污染问题，还要解决经济发展对能源需求的增长给环境带来的潜在的巨大压力。

第三，节能降耗是提高企业经济效益，增强企业竞争力的重要措施。

随着加入世贸组织后我国国际贸易的迅速发展，节能对产品进出口乃至国际贸易的影响日益增加，能效标准、标识已成为国际贸易中的“绿色通行证”，我国作为机电产品出口大国，对市场的这种变化必须高度重视，及早研究和采取措施。

节能是事关全社会的大事，节能与人们的生活方式紧密相连，节能需要从我做起。城市的公共交通更发达一些，私家汽车的排气量更低一些，人们的节能意识更强一些……倡导健康文明的节约文化，在全社会形成“节约光荣、浪费可耻”的浓厚氛围。

想想练练

1. 与一般能源相比，太阳能有哪些优点？
2. 核能都有哪些应用？

10.4★★ 物理与保护环境

目标要求

了解噪声污染、电磁污染、光污染和放射性污染对环境和人类造成的危害，知道噪声污染、电磁污染、光污染和放射性污染的防护方法和控制方法。

噪声污染与控制

我们生活的空间，充满各类声音，有些声音悦耳动听；有些却吵闹难忍。其中引起人烦躁、或音量过强而危害人体健康的声音我们称为**噪声**。

噪声污染是指声源发出的噪声超过国家规定的环境噪声标准，妨碍人们工作、学习、生活和其他正常活动的现象，如图 10-10 所示，飞机飞过居民区上空，会对居民带来很大



图 10-10 噪声污染

的噪声。

噪声的来源主要有三种，交通噪声、工业噪声和生活噪声。

交通噪声主要是由交通工具在运行时发出来的。如汽车、飞机、火车等都是交通噪声源；工业噪声主要来自生产和各种工作过程中机械振动、摩擦、撞击以及气流扰动而产生的声音。其影响虽然不及交通运输广，但局部地区的污染却比交通运输严重得多；生活噪声主要指街道和建筑物内部各种生活设施、人群活动等产生的声音。

噪声对人的听力、睡眠都会造成一定程度的影响，噪声还可以引起心绪不宁、心情紧张、心跳加快、血压增高等疾病。要控制噪声，我们可以从以下三方面考虑。

控制噪声来源

控制噪声的根本措施是控制噪声源，这就是说首先要查清噪声是从哪里发出来的。是机器问题，就要设法改进机器的结构和操作工艺。如果是学校、住宅附近的高音设备吵得学生无法上课，吵得人们无法休息，就应向上级管理部门提出意见，或让工作人员把声音放低以保证正常学习与休息。

个人防护

对我们每个人来说，首先自己不制造噪声。在家中看电视、听收音机，都要注意尽量把声音放小，不要干扰邻居休息。我们每个人都应该从自己做起，养成一种在公共场所小声说话、轻拿轻放的好习惯。

法律武器

以上的两个方法讲的都是从防治噪声的技术方面来考虑的。但是，有时仅仅依靠技术，特别是仅靠个人的防护，还是消极被动的，而且也是不能从根本上解决问题的，必要时还得要拿起法律的武器。

电磁污染与防护

十几年来，家用电脑、家庭影院等现代高科技产品已进入千家万户，给人们生活带来诸多方便和乐趣。然而，现代科学研究发现，各种家用电器和电子设备在使用过程中会产生多种不同波长和频率的电磁波，这些电磁波充斥空间，对人体具有潜在危害。电视、电冰箱、电脑、手机等工作时，产生的电磁波就是电磁辐射（图 10-11）。可见，在现代社会环境中，电磁辐射无处不在。当电磁辐射超过一定强度后，会导致人头疼、失眠、记忆衰退、视力下降、血压升高或下降等，严重的可能引起部分人员流产、白内障，甚至诱发癌症，这就造成了电磁污染。

为了减轻家庭居室内电磁污染及其有害作用，必须讲究各种家用电器的科学使用。诸如观看电视、使用电脑时，最好在显示器前配备质量较好的防辐射屏。收听组合音响或看



图 10-11 电磁辐射

家庭影院的时间不可过长，尤其是儿童和孕妇更应注意；尽量避免多种家用电器同时开启使用；等等。这些措施对预防和减轻电磁污染对人体的危害都是颇有助益的。

放射性污染

在常人的印象里，放射性污染是与威力无比的原子弹、氢弹的爆炸联系在一起的。然而，近年来，随着放射性同位素及射线装置在工农业、医疗、科研等各个领域的广泛应用，放射线危害的可能性却在增大。

什么是放射性同位素，它是怎样造成危害的呢？

在周期表中，占据同一个位置，核电荷数相同，但是质量数不同的元素称为同位素。比如说铀 235、铀 238、铀 233、铀 234、铀 236 都属于铀的同位素。在放射性同位素中能自发地放出射线的同位素，叫放射性同位素。

放射性同位素能放射出 α 射线、 β 射线、 γ 射线。如果人体受到长时间大剂量的射线照射，就会使细胞器官组织受到损伤，破坏人体 DNA 分子结构，有时甚至会导致癌症，或者造成下一代遗传上的缺陷，受照射的人常常会出现头痛、四肢无力、贫血等多种症状，重者甚至死亡。

光污染与控制

如果没有光，世界上的一切都将是漆黑的。但如果人眼长期在弱光下看东西，视力就会受到损伤。相反，强光可使人眼瞬时失明，重则造成永久伤害。人们必须在适宜的光环境下工作、学习和生活。另一方面，人类活动可能对周围的光环境造成破坏，使原来适应的光环境变得不适应，这就是光污染。例如每当夜晚在马路边散步时，迎面而来的机动车前照明灯把行人晃得眼都睁不开，这就是一种光污染。

光污染危险性较大的是核武器爆炸时的强光。它可使相当范围内的人们的眼睛受到伤害。如果没有适当的防护措施，长期从事电焊、冶炼和熔化玻璃等工作的人，眼睛都会受到伤害，眼睛里出现盲斑，到年老时容易患白内障，这是强光伤害眼睛晶状体的结果。

由于光污染不能通过分解、转化、稀释来消除，因此只能加强预防。这就需要弄清形成光污染的原因和条件，提出相应的防护措施和方法，并制定必要的法律和法规。

(1) 正确使用灯光，合适亮度，加强人工光源的有效管理。白天尽量利用自然光线，经常打开窗户，让阳光进入室内。尽量避免受强光的刺激。同时，要加强人工光源的有效管理，控制城市灯光的过度使用，避免城市夜晚的白昼化，以免影响天文观测和居民休息。

(2) 制定相应的政策和法规，改善不合理的照明条件，减少光污染源。加强对摆放杂乱的货摊、广告、车辆等污染源进行合理规划，做到井井有条。

(3) 个人防护措施。对红外线和紫外线的防护措施主要是戴防护眼镜和防护面罩。此外，对有红外线和紫外线污染以及应用激光的场所制定相应的卫生标准并采取必要的安全防护措施，注意张贴警告标志，禁止无关人员进入禁区内。

日常生活中如何减小室内污染?

当我们喜迁新居的时候常常烦恼于装修污染,室内空气污染并不是一时能够解决的问题,特别是针对于那些已经使用不合理材料装修过房子的人,重装修是不切实际的,在这种情况下我们应该对日常生活中的一些细节加以留意来尽量减少和避免室内空气的污染:

(1) 通风换气是最有效、最经济的方法。不管住宅里是否有人,应尽可能地多通风。一方面新鲜空气的稀释作用可以将室内的污染物冲淡,有利于室内污染物的排放,另一方面有助于装修材料中的有毒有害气体尽早地释放出来。

(2) 室内保持一定的湿度和温度,湿度和温度越高,污染物就从装修材料中散发的越快,这在室内有人时不利,同时湿度过高有利于细菌等微生物的繁殖。

(3) 在使用杀虫剂、除臭剂和熏香剂时要适量,这些物质对室内害虫和异味有一定的处理作用,但同时它们也会对人体产生一些危害。

(4) 尽量避免在室内吸烟,它不仅危害自身,而且对周围人群产生更大的危害。

10.5** 相对论初步

目标要求

简单了解经典时空观和相对论时空观的主要区别,知道同时的相对性、长度的相对性、时间间隔的相对性。

相对论

相对论是关于时空和引力的基本理论,主要由爱因斯坦创立,分为狭义相对论和广义相对论。相对论的基本假设是光速不变原理,相对性原理和等效原理。相对论和量子力学是现代物理学的两大基本支柱。经典力学不适用于高速运动的物体和微观粒子。相对论解决了高速运动问题;量子力学解决了微观亚原子条件下的问题。相对论极大地改变了人类对宇宙和自然的“常识性”观念,提出了“同时的相对性”、“四维时空”、“弯曲空间”等全新的概念。

经典的相对性原理 如果牛顿运动定律在某个参考系中成立,这个参考系叫做惯性系,相对一个惯性系做匀速直线运动的另一个参考系也是惯性系。

实际上,大家都会相信这样一个论述:力学规律在任何惯性系中都是相同的。这个论述叫做伽利略相对性原理。

自从麦克斯韦预言了光的电磁本质以及电磁波的速度以后,物理学家们就在思考,这个速度是对哪一个参考系说的?如果存在一个特殊的参考系 O ,光对这个参考系的速度是 c ,另一个参考系 O' 的以速度 v 沿光传播的方向相对于参考系 O 运动,那么在 O' 中观测

到的光速就应该是 $c-v$ ，如果参考系 O' 逆着光的传播方向运动，在参考系 O' 中观测到的光速就应该是 $c+v$ ，如图 10-13 所示。

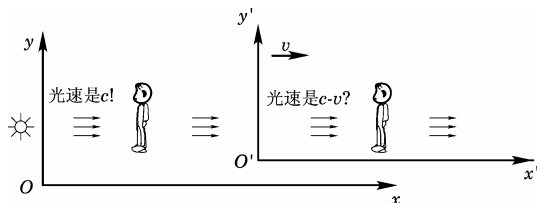


图 10-12 参考系 O' 以速度 v 相对于参考系 O 运动，
如果光对 O 系的速度是 c ，对于 O' 系速度是多少？

尽管物理学家设计了许多巧妙的实验，力图测出不同参考系中光速的差别。最后得出的光速都是相同的，这个结果使物理学家感到震惊，因为它和传统的观念，例如速度合成的法则是矛盾的。

狭义相对论的两个基本假设 爱因斯坦坚信，自然界不存在特殊的惯性参考系，不论是力学规律还是电磁规律，它们对任何惯性参考系都是一样的。这就是狭义相对论的第一个假设：

在不同的惯性参考系中，一切物理规律都是相同的。这个假设称为狭义相对性原理。

另一个假设是光速不变原理：真空中的光速在不同的惯性参考系中都是相同的，光速与光源和观察者间的相对运动没有关系。

同时的相对性 不处于同一位置的两个事件是否同时发生，在以静止的物体做参考系来看如果是同时的，而在以运动的物体做参考系来看是否也是同时的呢？“常识”和经典物理学告诉我们，这是毋庸置疑的。是不是真是如此呢？假如有一列火车以匀速 v 相对于站台向右运动，当火车的首、尾两点 A' 、 B' 与站台上的 A 、 B 两点重合时，站台上这两点同时发出闪光；所谓“同时”，就是两闪光同时传到站台上的中点 C 。但对于火车来说，由于它向右行驶，火车上的中点 C' 将会先接收到来自车头 A' （即站台上的 A ）点的闪光，后接收到来自车尾 B' （即站台上的 B ）点的闪光。于是，对于火车上中点 C' 观察者来说， A 点的闪光早于 B 点，这两个事件不同时。这就是说，对于以站台为参照系而言，两事件是同时的，而对以运动的火车做参考系则不是同时的。如果我们接受爱因斯坦的两个假设，自然会得到同时是相对的。只是由于火车运动的速度远小于光速，这种差别太小了，我们很难观测到。

长度的相对性 在某一个运动的参考系中，测量一根沿运动方向放置的静止棒的长度，要比在相对棒静止的参考系中测得的此棒的长度短一些。这种情况叫做长度收缩效应，或尺缩效应。这个效应显示了空间的相对性。

这种长度的变短是相对的。如果两条平行的、相同的杆在沿自己长度方向做相对运动，与它们一起运动的观察者都会认为对方的杆比自己的短一些。

时间间隔的相对性 经典物理学认为，某两个事件，在不同的惯性参考系中观察，它们的时间间隔总是相同的。例如，一个单摆从一端摆到另一端，守候在旁的人测量所用时间是 $1s$ ，那么乘坐在飞机上的人测得的时间间隔一定也是 $1s$ 。但是，在相对论物理学看来，两者测得的时间并不一样。

还以运动的火车为例，如果火车车厢内底面上的光源向上发一闪光，并被上面小镜反

射回来，对于车上的人来说，光线往返时间为 t 。对于地面的人来说，情况有所不同。因为光传播过程中，火车向前运动了一段距离。因此被小镜反射后又被光源接收的闪光是沿着路径 AMB 传播的光，也就是说光传播的距离变长了，因此所用时间 t' 也变长了，如图 10-13 所示。它意味着从地面上观察，火车上的时间进程变慢了；时钟走得慢了，化学反应慢了，甚至人的新陈代谢也变慢了……可是车上的人自己没有这种感觉。它们反而认为地面上的时间进程比火车的慢，因为他们看到，地面正以同样的速度朝相反的方向运动！

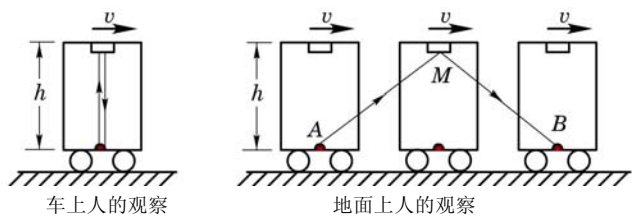


图 10-13 时间间隔的相对性

相对时空观 什么是时间？什么是空间？时间与空间有什么性质？从经典物理学的对问题处理上，我们体会到，空间好像一个大盒子，它是物质运动的场所，至于某一时间在某空间区域是否有物质存在，物质做什么运动，这些对空间本身没有影响。也就是说，经典物理认为空间和时间是脱离物质而存在的，是绝对的，空间与时间之间也是没有联系的。

相对论认为有物质才有空间和时间，空间和时间与物质的运动状态有关，前面已经看到，在一个确定的参考系中观察，运动物体的长度（空间距离）和它上面物理过程的快慢（时间进程）都与物体的运动有关。由于我们生活在低速运动的世界里，所体验到的物体的运动速度远远小于光速，因此自然接受了经典的时空观。虽然相对论更具有普遍性，但是经典物理学作为相对论在低速运动时的特例，在自己适用范围内还将继续发挥作用。

广义相对论 在前述思考的基础上，爱因斯坦向前迈进了一大步，把相对性原理推广到一切参考系中，认为在任何参考系中，物理规律都是相同的，这就是广义相对性原理。而另一个基本原理，爱因斯坦提出的“等效原理”，就是一个均匀的引力场与一个做加速运动的参考系等价。这一原理建立在引力质量与惯性质量的等价性上。物体的运动方程与物体自身固有性质无关，只取决于时空局域几何性质。而引力正是时空局域几何性质的表现。物质质量的存在会造成时空的弯曲，在弯曲的时空中，物体仍然顺着最短距离进行运动，如地球在太阳造成的弯曲时空中的测地线运动，实际是绕着太阳转，造成引力作用效应。正如在弯曲的地球表面上，如果以直线运动，实际是绕着地球表面的大圆走。

相对论对于现代物理学的发展和现代人类思想的发展都有巨大的影响。相对论从逻辑思想上统一了经典物理学，使经典物理学成为一个完美的科学体系。狭义相对论在狭义相对性原理的基础上统一了牛顿力学和麦克斯韦电动力学两个体系，牛顿力学只不过是物体在低速运动下很好的近似规律。广义相对论又在广义协变的基础上，通过等效原理，建立了局域惯性与普遍参照系之间的关系，得到了所有物理规律的广义协变形式，并建立了广义协变的引力理论，而牛顿引力理论只是它的一级近似。这就从根本上解决了以前物理学只限于惯性系的问题，从逻辑上得到了合理的安排。相对论严格地考察了时间、空间、物

质和运动这些物理学的基本概念，给出了科学而系统的时空观和物质观，从而使物理学在逻辑上成为完美的科学体系。

狭义相对论给出了物体在高速运动下的运动规律，并提示了质量与能量相当，给出了质能关系式。这两项成果对低速运动的宏观物体并不明显，但在研究微观粒子时却显示了极端的重要性。因为微观粒子的运动速度一般都比较快，有的接近光速，所以粒子物理学离不开相对论，并且为原子核物理学的发展和应用提供了根据。

广义相对论建立了完善的引力理论，而引力理论主要涉及的是天体。到现在，相对论宇宙学进一步发展，而引力波物理、致密天体物理和黑洞物理这些属于相对论天体物理学的分支学科都有一定的进展，吸引了许多科学家进行研究。

阅读材料

改变人类世界观的科学家——爱因斯坦

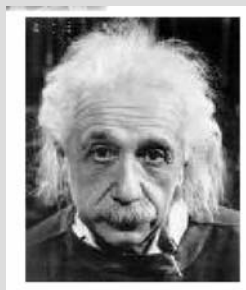


图 10-15 爱因斯坦

阿尔伯特·爱因斯坦（1879年3月14日~1955年4月18日），举世闻名的德裔美国科学家，犹太人，现代物理学的开创者和奠基人，相对论、“质能关系”的提出者，“决定论量子力学诠释”的捍卫者（振动的粒子）——不掷骰子的上帝。1999年12月26日，爱因斯坦被美国《时代》周刊评选为“世纪伟人”。

爱因斯坦 1900 年毕业于苏黎世工业大学，并入瑞士籍。1905 年获苏黎世大学哲学博士学位。曾在伯尔尼专利局任职。苏黎世工业大学、布拉格德意志大学教授。

1913 年返德国，任柏林威廉皇帝物理研究所所长和柏林大学教授，并当选为普鲁士科学院院士。1933 年因受纳粹政权迫害，迁居美国，任普林斯顿高级研究所教授，从事理论物理研究，1940 年入美国国籍。

在爱因斯坦小的时候，有一天德皇军队通过慕尼黑的市街，好奇的人们都涌向窗前喝彩助兴，小孩子们则为士兵发亮的头盔和整齐的脚步而神往，但爱因斯坦却恐惧地躲了起来，他既瞧不起又害怕这些“打仗的妖怪”，并要求他的母亲把他带到自己永远也不会变成这种妖怪的国土去。中学时，母亲满足了爱因斯坦的请求，把他带到意大利。爱因斯坦放弃了德国国籍，可他并不申请加入意大利国籍，他要做一个不要任何依附的世界公民。大战过后，爱因斯坦试图在现实的基础上建立他的世界和平的梦想，并且在“敌国”里作了一连串“和平”演说。他的思想和行动，使他险遭杀身之祸：一个抱有帝国主义野心的俄国贵族女刺客把枪口偷偷对准了他；德国右翼刺客们的黑名单上也出现了阿尔伯特·爱因斯坦的名字；希特勒悬赏两万马克要他的人头。为了使自己与这个世界保持“和谐”，爱因斯坦不得不从意大利迁到荷兰，又从荷兰迁居美国，而且加入了美国国籍。他认为，在美国这个国度里，各阶级的人们都能在勉强过得去的友谊中共存下去。

19 世纪末期是物理学的变革时期，爱因斯坦从实验事实出发，重新考查了物理学的基本概念，在理论上做出了根本性的突破。他的一些成就大大推动了天文学的发展。他

的量子理论对天体物理学，特别是理论天体物理学都有很大的影响。理论天体物理学的第一个成熟的方面——恒星大气理论，就是在量子理论和辐射理论的基础上建立起来的。爱因斯坦的狭义相对论成功地揭示了能量与质量之间的关系，坚守着“上帝不掷骰子”的量子论诠释（微粒子振动与平动的矢量和）的决定论阵地，解决了长期存在的恒星能源来源的难题。近年来发现越来越多的高能物理现象，狭义相对论已成为解释这种现象的一种最基本的理论工具。其广义相对论也解决了一个天文学上多年的不解之谜，并推断出后来被验证了的光线弯曲现象，还成为后来许多天文概念的理论基础。

爱因斯坦对天文学最大的贡献莫过于他的宇宙学理论。他创立了相对论宇宙学，建立了静态有限无边的自洽的动力学宇宙模型，并引进了宇宙学原理、弯曲空间等新概念，大大推动了现代天文学的发展。

10.6** 量子力学简介

目标要求

了解物质的粒子性及量子力学的基本内容。

物理学家普朗克发现，能量的传递不是连续的，而是以一个一个的能量单位传递的。这种最小能量单位被称作能量子（简称量子）。爱因斯坦根据光电效应推断，光能也不是连续的。对光的量子化就是认为光是以一个一个微小单位的形式存在和传播的，被称为光子（简称光子）。单个光子携带的能量和光频率成正比，比例系数是普朗克常数， n 个量子总能量就再乘以 n 。玻尔为解释卢瑟福实验，对电子能量作了量子化假设，最简单的一条就是电子能量只能是某些固定的值。以上两个是早期量子论中的量子化。

在现代量子理论中，人们发现光的波粒二象性以后，进一步认识到任何物体都有波动性和粒子性。而且任何物体的位置和速度都不可能同时被准确地测定，只能用概率来描述。在现代量子论中，用波粒二象性和概率波处理微观问题就是量子化。

量子力学是在旧量子论的基础上发展起来的物理的一个分支学科。它是研究原子、分子、凝聚态物质，以及原子核和基本粒子的结构、性质的基础理论，它与相对论一起构成了现代物理学的理论基础。量子力学不仅是近代物理学的基础理论之一，而且在化学等有关学科和许多近代技术中也得到了广泛的应用。

量子力学与经典力学的差别首先表现在对粒子的状态和力学量的描述及其变化规律上。在量子力学中，粒子的状态用波函数描述，它是坐标和时间的复函数。为了描写微观粒子状态随时间变化的规律，就需要找出波函数所满足的运动方程。这个方程是薛定谔在1926年首先找到的，被称为薛定谔方程。

当微观粒子处于某一状态时，它的力学量（如坐标、动量、角动量、能量等）一般不具有确定的数值，而具有一系列可能值，每个可能值以一定的概率出现。当粒子所处的状

态确定时，力学量具有某一可能值的几率也就完全确定。这就是 1927 年海森伯得出的测不准关系，同时玻尔提出了并协原理，对量子力学给出了进一步的阐释。

本章小结

本章主要讲述了原子结构、天然放射现象、核技术、新能源的开发和利用、环境污染与防治、相对论等的基本知识。

1. 原子的核式结构、原子核组成。
2. 天然放射性及其应用。
3. 原子核的裂变与聚变，核能与核技术。
4. 常规能源与新能源的开发和利用。
5. 环境污染与防治——噪声污染、电磁污染、光污染和放射线污染及其防护。
6. 相对论的基本知识。量子化现象。